

MÉTHODOLOGIE POUR L'ANALYSE D'UNE RÉPARTITION MODALE ET SPATIALE PLUS DURABLE DU TRAFIC - APPLICATION AU TRAFIC MARCHANDISES TRANSALPIN EN SUISSE

THÈSE N° 3700 (2006)

PRÉSENTÉE LE 15 DÉCEMBRE 2006

À LA FACULTÉ DE L'ENVIRONNEMENT NATUREL, ARCHITECTURAL ET CONSTRUIT
Laboratoire d'intermodalité des transports et de planification
SECTION DE GÉNIE CIVIL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

POUR L'OBTENTION DU GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES

PAR

Raphaëlle ARNAUD

DEA aménagement, urbanisme et dynamique des espaces, Université Panthéon Sorbonne, Paris, France
et de nationalité française

acceptée sur proposition du jury:

Prof. A.-G. Dumont, président du jury
Prof. R. Rivier, directeur de thèse
Prof. A. Etchelecou, rapporteur
Prof. F. Golay, rapporteur
Prof. P.-A. Rumley, rapporteur



ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Lausanne, EPFL
2007

« Connaître, ce n'est point démontrer, ni expliquer. C'est accéder à la vision. Mais, pour voir, il convient d'abord de participer. Cela est dur apprentissage... »

Antoine de Saint-Exupéry

Remerciements

Le milieu fascinant qu'est la montagne m'a accompagné tout au long de ma vie et de cette thèse.

A l'image d'une expédition en montagne, je tiens ici à remercier tous ceux qui m'ont accompagnée le long de ce parcours.

Cette thèse n'aurait pas pu être réalisée sans:

- le sponsor : je remercie le Fonds National Suisse pour la recherche scientifique ainsi que Le LITEP et l'EPFL pour leur soutien financier;
- le guide de l'expédition : très chaleureusement je remercie le Professeur Robert E. Rivier qui a dirigé cette thèse, m'a guidée et m'a accordé une grande confiance;
- les autres guides : je suis très reconnaissante envers le Professeur Pierre-Alain Rumley, le Professeur François Golay, le Professeur André Etchelecou et Jacques-André Hertig qui me font l'honneur d'avoir accepté d'être membre du jury présidé par le Professeur André-Gilles Dumont;
- les personnes m'ayant aidé dans les passages techniques difficiles : j'adresse un très grand merci à David Lindemann, Bruno Magoni, Holger Heisig, Jacques-André Hertig et Alexandre Audouard;
- les personnes ayant participé au bon fonctionnement de l'expédition : merci à Alain Clappier, Jean-Michel Fallot, Martin Schuler et aux collaborateurs du LITEP, du LASIG, de l'Office Fédéral de l'Environnement, de l'Office Fédéral du Développement Territorial, de l'Office Fédéral de la Statistique, de l'Office Fédéral des Routes et de l'Office Fédéral des Transports m'ayant aidée ou transmis des informations pour ce travail;
- les personnes ayant soutenu l'expédition : je remercie l'ensemble des collaborateurs du LITEP qui m'ont permis de réaliser cette thèse dans une ambiance conviviale ; merci Willem-Jan pour ton aide;
- les personnes ayant relu le récit issu de ce parcours : un grand merci au Professeur Robert E. Rivier, à Bruno Magoni et à Anne-Marie Arnaud;
- les personnes que j'aime et qui m'ont soutenu et supporté tout au long de cette aventure : Bruno et mes parents, Anne-Marie et Maurice;
- les personnes qui m'ont accompagnée et comprise : mes amis;
- les personnes que j'ai contactées ou rencontrées durant cette longue expédition.

Merci beaucoup!

Résumé

Depuis plusieurs décennies, le trafic de marchandises croît de manière significative dans l'ensemble de l'Europe. Les Alpes, situées au cœur des échanges nord - sud, sont particulièrement sensibles à cette évolution du fait des caractéristiques topographiques et météorologiques de ce massif.

Le transport routier, qui est mieux adapté aux exigences du système de production et de distribution est le principal bénéficiaire de cette augmentation. Mais la croissance de ce mode de transport pose des problèmes notamment en termes de pollution atmosphérique et sonore, de congestion et d'insécurité (accidents).

L'avènement du concept de développement durable incite à la recherche d'une répartition modale et spatiale plus durable du trafic de marchandises. S'interrogeant principalement sur la dimension temporelle (équité entre les générations), la problématique du développement durable doit s'accompagner de la prise en compte de la dimension territoriale (équité au sein de chaque génération)¹.

Dans ce contexte, la considération de l'interaction entre le trafic et le territoire apparaît essentielle. Afin de pouvoir appréhender la vulnérabilité des régions traversées² au trafic, et plus particulièrement au trafic routier et ferroviaire transalpin de marchandises compte tenu des nuisances induites, une méthode a été développée dans le cadre de cette thèse.

La mise en œuvre d'un Système d'Information Géographique ainsi que l'ébauche d'un système d'indicateurs montre l'intérêt de cette approche pour l'évaluation de l'impact induit par un transfert modal et/ou spatial d'un volume de trafic transalpin (scénarios) sur la durabilité des régions. Développée pour aider les décideurs à prendre des décisions répondant aux objectifs du développement durable, cette méthode, conçue pour être applicable sur l'ensemble du « segment alpin » (Mt Cenis/Fréjus – Brenner), est testée au niveau de la Suisse.

Cette application à l'échelle de la Suisse tient compte des trafics ferroviaire et routier et des nuisances sonores et atmosphériques qu'ils génèrent. Le développement d'indicateurs, quant à lui, repose sur les données d'immissions (concentrations) ainsi que sur la répartition spatiale de la population.

Cette thèse montre qu'une mise en relation de données issues de sources variées est possible, voire indispensable, pour analyser l'effet induit par un changement modal et/ou spatial du trafic transalpin de marchandises.

Les résultats de l'application révèlent que le trafic transalpin de marchandises a un impact significatif sur le court terme. Afin de réduire cet impact, il est essentiel d'agir sur le trafic transalpin de marchandises mais également sur le trafic de marchandises en général. Une modification de la répartition modale et spatiale d'un volume de trafic transalpin de marchandises permet de réduire cet impact sans toutefois arriver à une situation satisfaisante.

Mots-clés :

Transport, répartition modale et spatiale du trafic, Alpes, pollution de l'air, bruit, développement durable, SIG, indicateurs

1 « Le souci du sort, ou pour le moins la considération des intérêts des générations futures, n'a de sens que s'il s'accompagne d'une prise en compte de la génération présente dans la variété de ses situations. Et, à cet égard, les niveaux respectifs de bien-être suivant les territoires constituent une variable de première importance » (LAGANIER VILLALBA ZUINDEAU 2002).

2 Région : « Étendue de pays qui doit son unité à des causes naturelles (climat, végétation, relief) ou humaines (peuplement, économie, structures politiques ou administratives, etc.) » (Le Petit Larousse illustré 1999).

Abstract

There has been a significant growth in freight traffic over the last few decades in Europe. The Alps, located in the middle of North-South route, are particularly sensitive regarding this evolution because of their topographic and climatic characteristics.

The more flexible road transport has the advantage of meeting the requirements of contemporary production and distribution techniques, thus helping to explain increasing modal split for road transport. The development of road transport resulted in increased air and noise pollution, congestion, and safety concerns (accidents).

The advent of the concept of sustainable development has called current modal split into question. It mainly covers the temporal dimension (equity between generations), but sustainable development also has to take into account the territorial dimension (equity inside the same generation).

In this context, the consideration of the interaction between traffic and territory is essential. To assess the vulnerability of crossed areas to traffic and mainly to road and railway transalpine freight traffic, in particular to the nuisances they induce, a method has been developed. The use of a Geographic Information System and the development of an indicator system show the interest of this approach to evaluating the impact induced by a modal and/or spatial split of a volume of transalpine freight traffic (scenarios) on the crossed regions' sustainability. Developed to help decision-makers to take decisions meeting the sustainable development objectives, this method counts for the whole « Alpine segment » (Fréjus – Brenner) and is tested on the Swiss territory.

The application on the Swiss territory takes railway and road traffic into account and the noise and air pollutions they induce. The development of indicators is based on immission data (concentrations) and on the spatial distribution of the population.

This PhD thesis shows that the establishment of relationships between data coming from various sources is possible, even indispensable, to analyse the effect induced by a modal and/or spatial change of transalpine freight traffic.

The results of this research reveal that transalpine freight traffic has a significant impact on the short term. To reduce this impact, it appears to be necessary to act on transalpine freight traffic but also on freight traffic in general. A change in a modal and spatial split of a transalpine freight traffic volume is able to reduce this impact but the situation will still not be satisfying.

Keywords:

Transport, modal and spatial split of traffic, Alps, air pollution, noise, sustainable development, GIS, indicators

Zusammenfassung

In den letzten Jahrzehnten hat der Güterverkehr im europäischen Raum in hohem Maß zugenommen. Dabei sind die Alpen, aufgrund ihrer bedeutenden Lage im Zentrum Europas und des Nord-Süd-Austauschs, mit ihren topographischen und meteorologischen Besonderheiten in besonderem Masse von den Entwicklungen betroffen.

Der Straßengebundene Verkehr, der die Anforderungen von Produktions- und Verteilungssystemen besser zu erfüllen scheint als der Schienenverkehr, profitiert vorrangig von dieser Verkehrszunahme. Doch das Wachstum dieses Verkehrsträgers verursacht schwerwiegende Probleme in der Form von Luft- und Lärmemissionen, Stau und Straßenverkehrssicherheit (Unfälle).

Die Einführung des Konzeptes der nachhaltigen Entwicklung stellt die Forderung nach einem räumlich verträglicheren Güterverkehr und einer besseren Verteilung der Verkehrsträger. Neben der prinzipiellen Prüfung einer zeitlichen Dimension (gleichmäßige Verteilung über die Generationen), muss eine nachhaltige Entwicklung auch eine räumliche Dimension (Gleichmäßige Verteilung *innerhalb* der jeweiligen Generationen) berücksichtigen.

In diesem Zusammenhang ist es unerlässlich, über den Austausch zwischen Verkehr und Raum nachzudenken. Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Methode entwickelt, die hilft, die Sensibilität der Regionen zu begreifen, die vom Verkehr, insbesondere dem schienen- und strassengebundenen Güterverkehr über die Alpen, durchquert werden, und die somit entsprechenden Emissionen ausgesetzt sind.

Die Implementierung eines geographischen Informationssystems und der Entwurf eines Indikatorensystems verweisen auf den Beitrag dieses Ansatzes zur Wirkungsanalyse einer modalen und/oder räumlichen Umverteilung eines Anteils des transalpinen Verkehrs (verschiedene Szenarien) auf die Nachhaltigkeit der Regionen. Diese Methode beabsichtigt, die relevanten Entscheidungsträger bei ihren Entscheidungen im Rahmen von Anforderungen der nachhaltigen Entwicklung zu unterstützen. Sie ist auf den gesamten alpinen Raum (Mt Cenis/Frejus – Brenner) anwendbar und wurde im schweizerischen Zusammenhang konkret getestet.

Die Anwendung auf schweizerischer Ebene berücksichtigt den Schienen- und Straßengebundenen Verkehr sowie die von ihm verursachten Lärm- und Luftemissionen. Die Entwicklung von Indikatoren basiert auf der Grundlage von Immissionen (Konzentration) sowie auf der räumlichen Verteilung der Bevölkerung.

Die Arbeit verdeutlicht, dass die Verknüpfung von verschiedenen Daten aus unterschiedlichen Quellen möglich und notwendig ist, um die Folgen möglicher verkehrsbezogener und /oder räumlicher Veränderungen des transalpinen Güterverkehrs zu analysieren. Um negative Folgen zu mindern, müssen sowohl der transalpine Güterverkehr als auch die allgemeine Güterverkehrssystem modifiziert werden. Eine Veränderung im Modal Split und der räumlichen Verteilung von transalpinen Güterverkehrsaufkommen ermöglicht zwar, die negativen Auswirkungen zu beschränken, führt aber nicht zu einer wirklich zufrieden stellenden Situation.

Stichwörter :

Verkehr, modalen und räumlichen Umverteilung des Verkehrs, Luftverschmutzung, Lärm, nachhaltige Entwicklung, GIS, Indikatoren

Riassunto

Da diversi decenni il traffico merci è in significativa crescita in tutta l'Europa. Le Alpi, situate nel cuore degli scambi tra nord e sud, sono particolarmente sensibili a questa evoluzione per le loro particolari caratteristiche, sia topografiche che meteorologiche.

Il trasporto stradale, essendosi adattato meglio alle esigenze del sistema di produzione e di distribuzione, è il principale beneficiario di questo aumento. Tuttavia, la crescita di questa modalità di trasporto pone gravi problemi, principalmente in termini di inquinamento atmosferico e sonoro, ma anche di congestione e di insicurezza (incidenti). L'avvento del concetto di sviluppo sostenibile spinge alla ricerca di una ripartizione modale e spaziale del traffico merci più durevole nel tempo.

Interrogandosi principalmente sulla dimensione temporale (equità tra le generazioni), la problematica dello sviluppo sostenibile deve accompagnarsi alla presa in considerazione della sua dimensione territoriale (equità all'interno di ciascuna generazione).

In questo contesto la considerazione dell'interazione tra il traffico e il territorio diviene essenziale. Con l'obiettivo di poter comprendere la vulnerabilità delle regioni esposte al traffico, ed in particolare al traffico merci transalpino stradale e ferroviario, e prendendo in considerazione i danni indotti, un metodo di analisi è stato sviluppato nel quadro della presente tesi.

L'attuazione di un Sistema di Informazione Geografica (GIS) e l'abbozzo di un sistema di indicatori mostra l'interesse in questo approccio per la valutazione dell'impatto indotto da un trasferimento modale e/o spaziale di un volume di traffico transalpino (scenari) sulla sostenibilità per le regioni.

Sviluppato per aiutare le autorità a prendere decisioni in funzione degli obiettivi dello sviluppo sostenibile, questo metodo è stato concepito per essere applicabile sull'insieme del "segmento alpino" (Moncenisio/ Fréjus - Brennero), ed è già stato testato a livello svizzero.

Questa applicazione a livello della Svizzera prende in considerazione il traffico stradale e ferroviario e i danni sonori e atmosferici generati. La concezione degli indicatori si basa invece sui dati delle emissioni (concentrazioni) e sulla ripartizione spaziale della popolazione.

Questa tesi mostra che mettere in relazione dati provenienti da diverse fonti si rivela possibile, se non indispensabile, per un'analisi degli effetti indotti da un cambiamento modale e/o spaziale del traffico merci transalpino.

I risultati di questa ricerca rivelano che il traffico merci attraverso le Alpi ha un impatto significativo già a corto termine. D'altra parte, per ridurre questo impatto, è essenziale agire sul traffico merci transalpino, come anche sul traffico merci in generale.

Una modifica nella ripartizione modale e spaziale di una parte del traffico merci transalpino è in grado di ridurre questo impatto, senza tuttavia portare a una soluzione soddisfacente.

Parole chiave :

Trasporto, ripartizione modale e spaziale del traffico, Alpi, inquinamento atmosferico e sonoro, sviluppo sostenibile, GIS, indicatori

Liste des figures

Figure 1 : Critères de durabilité dans le domaine des transports (EBP 1998)	33
Figure 2 : Un système de transport durable – synthèse (ARNAUD 2003a)	34
Figure 3 : Les coûts externes des différents moyens de transport (hors congestion) – INFRAS IWW pour l’UIC 2000 (COMMISSION EUROPEENNE 2001)	45
Figure 4 : Importance des émissions des poids lourds marchandises par rapport à celles des voitures de tourisme (MICET 2.1 – OFEV 2004)	75
Figure 5 : Emissions de CO ₂ des transports entre 1985 et 2002 (EU 15) – (COMMISSION EUROPEENNE 2004)	79
Figure 6 : Aperçu de différents niveaux sonores (OFEFP 2002b)	81
Figure 7 : Aperçu des troubles de la santé pouvant être causés par le bruit (OFEFP 2002b) ..	86
Figure 8 : Le « segment alpin »	90
Figure 9 : Réseaux transeuropéens routier et ferroviaire (Source : Commission européenne)	93
Figure 10 : Prévisions du trafic transalpin de marchandises (RIVIER 2006)	94
Figure 11 : Dispersion des flux transalpins en Europe (base de données ATIS ; TARDIEU 2003)	95
Figure 12 : Evolution du trafic transalpin de marchandises (routier et ferroviaire / Autriche ; Suisse ; France / Source : ARE)	96
Figure 13 : Evolution du trafic transalpin de marchandises selon les différents modes (Autriche ; Suisse ; France / Source : LITRA)	97
Figure 14 : Evolution de la part du rail dans le trafic transalpin de marchandises selon les différents pays alpins (Source : ARE)	98
Figure 15 : Evolution des trafics routier et ferroviaire transalpins de marchandises (Autriche ; Suisse ; France / Source : ARE)	98
Figure 16 : Trafic transalpin de marchandises selon les différents passages alpins en 1999 (Source : ARE)	99
Figure 17 : Propagation du bruit en cas d’inversion thermique (INITIATIVE DES ALPES 2002)	100
Figure 18 : Les trois dimensions du développement durable	104
Figure 19 : Sensibilité et vulnérabilité	110
Figure 20 : Les indicateurs : une information destinée aux décideurs	114
Figure 21 : Le concept de base	127
Figure 22 : Le lien géographique	129
Figure 23 : Vulnérabilité des récepteurs aux différentes nuisances	131
Figure 24 : Passages alpins concernés par l’enquête CAFT 1999 (ARE SIGMAPLAN 2001)	139
Figure 25 : Modèle « MODELALPSIG_IndicateursScBaseSc1 »	144
Figure 26 : Extrait du modèle « MODELALPSIG_IndicateursScBaseSc1 »	144
Figure 27 : Trafic ferroviaire transalpin de marchandises (nombre de trains / jour et nuit / moyenne annuelle)	151
Figure 28 : Trafic routier transalpin de marchandises (nombre de PLM / jour et nuit / moyenne annuelle)	151
Figure 29 : Trafic ferroviaire total (nombre de trains / jour et nuit / moyenne annuelle)	153
Figure 30 : Trafic routier total (nombre de véhicules / jour et nuit / moyenne annuelle)	154
Figure 31 : Trafic ferroviaire « autre » (nombre de trains / jour et nuit / moyenne annuelle)	156
Figure 32 : Trafic routier « autre » (nombre de véhicules / jour et nuit / moyenne annuelle)	156
Figure 33 : Influence des conditions de circulation sur les émissions de SO ₂	162
Figure 34 : Influence de la déclivité sur les émissions de SO ₂	163

Figure 35 : Influence des conditions de circulation sur les émissions de particules (AR : autoroute ; EX : hors localités, route principale ; IN : dans localité, route principale) ..	164
Figure 36 : Méthode de calcul du point milieu et d'interpolation des points.....	166
Figure 37 : Calcul des immissions atmosphériques au niveau des points interpolés.....	173
Figure 38 : Dispersion des émissions dans le cas du trafic routier (source à 0,45 m)	174
Figure 39 : Modélisation de la dispersion des émissions (vents Nord Est, Ouest, Sud Ouest)	174
Figure 40 : Valeur de l'exponentielle.....	175
Figure 41 : Les zones tampons des « sous-itinéraires » transalpins.....	180
Figure 42 : Les zones homogènes (extrait)	182
Figure 43 : Scénario de transfert modal et spatial (« scénario 1 »).....	184
Figure 44 : Proportion d'émissions induites par les différents types de véhicules (« scénario de base »)	189
Figure 45 : Participation des différents types de trafics aux émissions atmosphériques (« scénario de base »).....	190
Figure 46 : Proportion des émissions induites par le trafic transalpin de marchandises par rapport au trafic total en Suisse (« scénario de base »).....	191
Figure 47 : Influence du « scénario 1 » sur les émissions atmosphériques totales	191
Figure 48 : Nombre de personnes soumises à des immissions supérieures aux VLI (trafic total / « scénario de base »).....	192
Figure 49 : Nombre de personnes soumises à des immissions sonores et/ou de particules supérieures aux VLI (extrait des résultats obtenus pour la Suisse).....	193
Figure 50 : Pourcentage de la population suisse soumise à des immissions de particules supérieures aux VLI (jour / « scénario de base »).....	193
Figure 51 : Pourcentage de la population suisse soumise à des immissions sonores supérieures aux VLI (nuit / « scénario de base »)	194
Figure 52 : Proportion d'émissions de particules induites par le trafic transalpin routier de marchandises durant le jour (« scénario de base »).....	194
Figure 53 : Les cantons suisses et les réseaux routier et ferroviaire	195
Figure 54 : Nombre de personnes soumises à des immissions sonores supérieures aux VLI (trafic total / « scénario de base »)	196
Figure 55 : Nombre de personnes soumises à des immissions de particules supérieures aux VLI (trafic total / « scénario de base »).....	197
Figure 56 : Proportion de personnes soumises à des immissions sonores supérieures aux VLI (trafic total / « scénario de base »)	198
Figure 57 : Proportion de personnes soumises à des immissions de particules supérieures aux VLI (trafic total / « scénario de base »).....	198
Figure 58 : Proportion de personnes soumises à des immissions sonores et/ou de particules supérieures aux VLI (trafic total / « scénario de base »).....	199
Figure 59 : Proportion de personnes soumises à des immissions de particules diurnes inférieures ou supérieures aux VLI dans chaque canton (« scénario de base »).....	199
Figure 60 : Influence du trafic transalpin (immissions de particules / « scénario de base »)	200
Figure 61 : Influence du trafic transalpin (immissions sonores / nuit / « scénario de base »).....	201
Figure 62 : Influence du trafic transalpin (immissions sonores et/ou de particules / « scénario de base »).....	201
Figure 63 : Influence « scénario 1 » (immissions de particules).....	202
Figure 64 : Proportion de personnes soumises à des immissions supérieures aux VLI (jour / trafic total / « scénario de base »).....	204
Figure 65 : Proportion de personnes soumises à des immissions supérieures aux VLI (nuit / trafic total / « scénario de base »).....	205

Figure 66 : Nombre de personnes soumises à des immissions supérieures aux VLI (nuit / trafic total / « scénario de base »)	205
Figure 67 : Proportion de personnes soumises à des immissions sonores et/ou de particules diurnes inférieures ou supérieures aux VLI (« scénario de base »).....	206
Figure 68 : Différences entre le « scénario de base » et le « scénario 1 » (particules)	207
Figure 69 : Répartition de la population dans les zones homogènes	207
Figure 70 : Proportion de personnes soumises à des immissions supérieures aux VLI (jour / trafic total / « scénario de base »).....	208
Figure 71 : Proportion de personnes soumises à des immissions supérieures aux VLI (nuit / trafic total / « scénario de base »).....	208
Figure 72 : Proportion de personnes soumises à des immissions sonores et/ou de particules supérieures aux VLI (trafic total / « scénario de base »).....	209
Figure 73 : Influence du trafic transalpin sur les immissions sonores (nuit / « scénario de base »)	209
Figure 74 : Influence du trafic transalpin sur les immissions de particules (« scénario de base »)	210
Figure 75 : Influence du « scénario 1 » sur le pourcentage de personnes soumises à des immissions de particules supérieures aux VLI.....	210
Figure 76 : Localisation des personnes soumises à des immissions sonores et/ou de particules supérieures aux VLI (trafic total / « scénario de base » / cf. Annexe 28)	211
Figure 77 : Localisation des personnes soumises à des immissions diurnes de particules supérieures aux VLI (trafic total / « scénario de base » / cf. Annexe 29)	212
Figure 78 : Localisation des personnes soumises à des immissions sonores nocturnes supérieures aux VLI (trafic total / « scénario de base » / cf. Annexe 30)	213

Liste des tableaux

Tableau 1 : Transport de marchandises en Europe (EU-15) (EUROSTAT).....	27
Tableau 2 : Evolution du trafic transalpin de marchandises de 1980 à 2004 (ARE <i>Alpinfo</i> ; CLEMENT 2004).....	28
Tableau 3 : Classification des impacts sur l'environnement par modes de transport (NIJKAMP 1994).....	31
Tableau 4 : Choix de la méthode d'évaluation économique (NICOLAS 2002)	45
Tableau 5 : Comparaison des méthodes d'agrégation complète et partielle	47
Tableau 6 : Aperçu des indicateurs définis par Schneider et Spilmann dans le cadre du PNR 41 (EBP 1998).....	61
Tableau 7 : Recherches consacrées à la pollution de l'air induite par les transports	65
Tableau 8 : Recherches consacrées aux différents impacts induits par les transports	65
Tableau 9. Coûts externes en Suisse (ARE 2005a).....	65
Tableau 10 : Prise en compte de la dimension spatiale.....	67
Tableau 11 : Décomposition du coût de transport (GREEN et al. 1997 selon QUINET 1998)	71
Tableau 12 : Les principaux effets du bruit (OFEFP 2002b).....	85
Tableau 13 : Les principaux passages routiers et ferroviaires à travers les Alpes	90
Tableau 14 : Objectifs pour un transport durable – extrait (UVEK 2001).....	115
Tableau 15 : Aperçu des valeurs limites d'immissions atmosphériques (OPair 1986 / cf. Annexe 2).....	119
Tableau 16 : Valeurs limites d'expositions au bruit (OPB 1986)	120
Tableau 17 : Données géographiques relatives à divers récepteurs	141
Tableau 18 : Décomposition du calcul des tonnes brutes « réelles » à partir des tonnes nettes	146
Tableau 19 : Décomposition du calcul du poids moyen d'un train marchandises	147
Tableau 20 : Hypothèses concernant les trains voyageurs et les trains marchandises	157
Tableau 21 : Abréviations des véhicules routiers.....	159
Tableau 22 : Les conditions de circulation [km/h].....	159
Tableau 23 : Emissions atmosphériques du trafic total à l'échelle de la Suisse en 1999 [tonnes].....	160
Tableau 24 : Emissions atmosphériques du trafic en Suisse en 2000 (calcul pour les jours ouvrables) [tonnes] (OFEFP 2004a)	161
Tableau 25 : Caractéristiques des différentes situations de vent en Suisse (Source : Jacques-André HERTIG et Jean-Michel FALLOT).....	169
Tableau 26 : Extrait du contenu des données issues d'un modèle de vent.....	170
Tableau 27 : Vitesses moyennes de vents obtenues pour les différentes situations [m/s]	170
Tableau 28 : Vitesses de vent moyennes [m/s] (plateau / 10 mètres au-dessus du sol) – (Source : Jean-Michel FALLOT).....	171
Tableau 29 : Proportion des différents champs de vent en montagne et en plaine [%]	176
Tableau 30 : Contribution moyenne des différents secteurs de vent aux immissions totales [%]	177
Tableau 31 : Pollution de fond [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] – (Source : Jean-Michel FALLOT).....	177
Tableau 32 : Itinéraires transalpins	179
Tableau 33 : Sous-itinéraires transalpins	179
Tableau 34 : Critères de délimitation des zones homogènes	181
Tableau 35 : Les zones homogènes.....	182
Tableau 36 : Nombre de trajets transalpins de marchandises en 1999 (jour et nuit)	185

Tableau 37 : Principaux cantons dont la population est soumise à des immissions supérieures aux VLI	196
Tableau 38 : Emissions de CO ₂ et de particules.....	214

Liste des annexes

Annexe 1 : Liste des polluants atmosphériques	247
Annexe 2 : Annexe 7 de l'OPair (OPair 1985)	249
Annexe 3 : Annexes 3 et 4 de l'OPB (OPB 1986)	251
Annexe 4 : Système d'objectifs et d'indicateurs du DETEC (UVEK 2001)	257
Annexe 5 : Données disponibles pour le « segment alpin »	259
Annexe 6 : Outil « Slope » (ArcGIS Desktop Help 2004)	265
Annexe 7 : Facteurs de vulnérabilité	267
Annexe 8 : Modèles dans ArcGIS (ModelBuilder)	269
Annexe 9 : Tunnels routiers et ferroviaires	271
Annexe 10 : Traitement des données relatives à la population	273
Annexe 11 : Traitement des données de base (réseau routier et ferroviaire)	275
Annexe 12 : Représentation du trafic routier et ferroviaire transalpin de marchandises	279
Annexe 13 : Représentation du trafic ferroviaire total	291
Annexe 14 : Représentation du trafic routier total	295
Annexe 15 : Distinction du trafic ferroviaire « autre » et transalpin	321
Annexe 16 : Trafic ferroviaire et routier de personnes et de marchandises en Suisse (année 2000 / source : ARE)	323
Annexe 17 : Distinction du trafic routier « autre » et transalpin	327
Annexe 18 : Coefficients d'émission MICET	329
Annexe 19 : Traitement des données ferroviaires dans le modèle	339
Annexe 20 : Traitement des données routières dans le modèle	345
Annexe 21 : Traitement des données météorologiques	355
Annexe 22 : Calcul des immissions routières (sonores et atmosphériques) et ferroviaires (sonores)	359
Annexe 23 : Traitement des données issues de l'algorithme exécuté dans Matlab	365
Annexe 24 : Création de zones tampons	371
Annexe 25 : Création de zones homogènes	373
Annexe 26 : Elaboration de critères de vulnérabilité	375
Annexe 27 : Simulation de transferts modaux et/ou spatiaux du trafic transalpin	381
Annexe 28 : Localisation des personnes soumises à des immissions sonores et/ou de particules supérieures aux VLI (trafic total / « scénario de base »)	409
Annexe 29 : Localisation des personnes soumises à des immissions diurnes de particules supérieures aux VLI (trafic total / « scénario de base »)	411
Annexe 30 : Localisation des personnes soumises à des immissions sonores nocturnes supérieures aux VLI (trafic total / « scénario de base »)	413
Annexe 31 : Influence du trafic transalpin de marchandises sur le nombre de personnes soumises à des immissions de particules diurnes supérieures aux VLI (« scénario de base »)	415
Annexe 32 : Outil « FocalMean » (ArcGIS Desktop Help 2004)	417
Annexe 33 : Curriculum Vitae	423

Liste des abréviations et des sigles

ACA :	Analyse Coût-Avantage
AMC :	Analyse MultiCritère
ARE :	Office Fédéral du Développement Territorial
ATE :	Association Transport et Environnement
CAR:	CARs et bus
CDDNU :	Commission du Développement Durable des Nations Unies
CEESE :	Centre d'Etudes Economiques et Sociales de l'Environnement
CEMT :	Conférence Européenne des Ministres des Transports
CFF :	Chemins de Fer Fédéraux
CH :	Confédération Helvétique
CO :	monoxyde de carbone
CO ₂ :	dioxyde de carbone
COV :	Composé Organique Volatil
dB :	décibel
dB(A) :	décibel pondéré par un filtre A
DETEC :	Département Fédéral de l'Environnement, des Transports, de l'Energie et de la Communication
DFTCE :	Département Fédéral des Transports, des Communications et de l'Energie
EEA :	European Environment Agency
EFLUM :	Laboratoire de mécanique des fluides de l'environnement
EMPA :	Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche (LFEM)
EPA :	United States Environmental Protection Agency
EST :	Environmentally Sustainable Transport
HC :	HydroCarbures
INRETS :	Institut National de REcherche sur les Transports et leur Sécurité
IPS :	Institut Paul Scherrer
IWW :	Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung (Universität Karlsruhe)
LASEN :	LABoratoire des Systèmes Energétiques
LASIG :	LABoratoire de Systèmes d'Information Géographique
LAT :	Loi fédérale sur l'Aménagement du Territoire
LCR :	Loi fédérale sur la Circulation Routière
LITRA :	Service d'information pour les transports publics
LPAS :	Laboratoire de Pollution Atmosphérique et du Sol
LPD :	Loi fédérale sur la Protection des Données
LRFP :	Loi sur le Recensement Fédéral de la Population
MC:	MotoCycles
MNA :	Modèle Numérique d'Altitude
MNT :	Modèle Numérique de Terrain
NO _x :	oxyde d'azote
O ₃ :	ozone
OCDE :	Organisation de Coopération et de Développement Economique
OFAT :	Office Fédéral de l'Aménagement du Territoire
OFEFP :	Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage
OFEV :	Office Fédéral de l'EnVironnement
OFS :	Office Fédéral de la Statistique
OMS :	Organisation Mondiale de la Santé
OPair :	Ordonnance sur la Protection de l'air
OPAM :	Ordonnance sur la Protection contre les Accidents Majeurs

OPB :	Ordonnance sur la Protection contre le Bruit
p-km :	personne/kilomètre
PLM :	Poids Lourds Marchandises
PM :	particules
PM ₁₀ :	Particules de poussières d'un diamètre inférieur à 10 µm
PNUD :	Programme des Nations Unies pour le Développement
PNUE :	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
RPLP :	Redevance sur le trafic des Poids Lourds liée aux Prestations
SIG :	Système d'Information Géographique
SNCF :	Société Nationale des Chemins de Fer
SO ₂ :	dioxyde de soufre
SUMMA:	SUstainable Mobility, policy Measures and Assessments
SVI:	Vereinigung Schweizerischer VerkehrsIngenieure (Association Suisse des Ingénieurs en Transports)
Swisstopo:	Office fédéral de la topographie
t/km:	tonne/kilomètre
TCA:	Transport Combiné Accompagné
TCNA :	Transport Combiné Non Accompagné
TJM :	Trafic Journalier Moyen
UE :	Union Européenne
UICN :	Union Mondiale pour la Nature (anciennement Union Internationale pour la Conservation de la Nature)
UVEK:	Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
VL :	Voitures de Livraison
VLI :	Valeur Limite d'Immission
VT :	Voitures de Tourisme
WHO :	World Health Organization
WWF :	Fonds Mondial pour la Nature

Table des matières

Remerciements	5
Résumé	7
Abstract	8
Zusammenfassung	9
Riassunto	10
Liste des figures	11
Liste des tableaux	15
Liste des annexes	17
Liste des abréviations et des sigles	19
Table des matières	21
Chapitre 1. Introduction	27
1.1. Problématique	27
1.1.1. La croissance du fret	27
1.1.2. L'évolution de la structure du fret	28
1.1.3. Les impacts du trafic	29
1.1.4. Le concept de développement durable appliqué au transport	32
1.1.5. Les politiques européennes et suisses de transport	34
1.1.5.1. Europe	34
1.1.5.2. Suisse	36
1.1.6. Le développement du transport combiné	38
1.2. Objectifs de l'étude	39
1.3. Organisation de l'étude	40
Chapitre 2. Etat de la recherche	41
2.1.1. L'évaluation de l'impact sur l'environnement	41
2.1.1.1. Bref historique et définition	41
2.1.1.2. Méthodes d'évaluation des impacts	43
2.1.2. L'évaluation des impacts des transports	49
2.1.2.1. Les recherches internationales	49
2.1.2.2. Les recherches alpines	50
2.1.2.3. Les recherches nationales	51
2.1.2.4. Synthèse	53
2.1.3. Les systèmes d'indicateurs de développement durable	54
2.1.3.1. De l'utilité des indicateurs	54
2.1.3.2. Les cadres conceptuels	55
2.1.3.3. Intérêt de l'analyse spatiale	56
2.1.4. L'évaluation de la durabilité des transports	57
2.1.4.1. Les recherches internationales	57
2.1.4.2. Les recherches alpines	59
2.1.4.3. Les recherches nationales	59
2.1.4.4. Synthèse	63
2.1.5. Conclusions sur l'état de la recherche	63
2.1.5.1. L'évaluation des impacts et de la durabilité	63
2.1.5.2. Les modes de transport et les impacts considérés	64
2.1.5.3. La prise en compte de la dimension spatiale	66
2.1.6. Apport de cette étude	67
Chapitre 3. Aire de l'étude	69
3.1. Le trafic routier et ferroviaire	69
3.2. Les impacts du trafic	70
3.2.1. Emissions, immissions, expositions	72
3.2.2. La pollution de l'air : les polluants primaires	73
3.2.2.1. Le trafic routier	74
3.2.2.2. Le trafic ferroviaire	75
3.2.2.3. Evolution des émissions	76
3.2.2.4. Les particules	77
3.2.2.5. Le dioxyde de carbone	78
3.2.3. La pollution sonore	80

3.2.3.1.	Niveau sonore pondéré, niveau moyen et niveau d'évaluation.....	80
3.2.3.2.	Les vibrations.....	82
3.2.3.3.	Le bruit du trafic routier et ferroviaire.....	82
3.2.3.4.	Evolution des émissions	84
3.2.3.5.	La gêne due au bruit et les effets sur la santé.....	85
3.2.4.	La congestion	87
3.2.5.	L'insécurité	88
3.3.	Les Alpes	89
3.3.1.	Définitions et délimitations	89
3.3.2.	Une barrière entre le nord et le sud de l'Europe de l'Ouest.....	91
3.4.	Le trafic transalpin de marchandises	91
3.4.1.	L'évolution du trafic transalpin de marchandises («segment alpin»).....	91
3.4.2.	La polarisation des flux	95
3.4.3.	L'évolution de la répartition spatiale et modale des flux	95
3.4.4.	Une zone particulièrement sensible.....	99
3.5.	Le concept du développement durable.....	101
3.5.1.	Origine et évolution du concept	101
3.5.2.	Définition	103
3.5.3.	Les dimensions environnementale, sociale et économique	104
3.5.3.1.	Les trois dimensions du développement durable	104
3.5.3.2.	La dimension sociale ou l'équité inter- et intragénérationnelle.....	105
3.5.4.	Les dimensions temporelle et territoriale	107
3.5.5.	A la recherche d'un transport durable.....	108
3.6.	Le concept de vulnérabilité	109
3.6.1.	Définition	109
3.6.2.	Evaluation	110
3.7.	La mesure.....	111
3.7.1.	Les indicateurs	111
3.7.1.1.	Définitions	111
3.7.1.2.	Intérêt.....	112
3.7.1.3.	Indicateurs de développement durable	113
3.7.1.4.	Limites.....	113
3.7.1.5.	Pollution de l'air	114
3.7.1.6.	Pollution sonore	116
3.7.2.	Les valeurs limites.....	117
3.7.2.1.	Définition	117
3.7.2.2.	Pollution de l'air	118
3.7.2.3.	Pollution sonore	119
3.7.2.4.	Intérêts	120
3.7.2.5.	Limites.....	120
Chapitre 4.	Concepts pour un outil d'aide à la décision	123
4.1.	Vers un outil d'aide à la décision	123
4.1.1.	Envisagé pour le « segment alpin »	123
4.1.2.	Appliqué à la Suisse.....	123
4.2.	Les Systèmes d'Information Géographique.....	123
4.2.1.	Définition	123
4.2.2.	Objectifs	124
4.2.3.	Données : acquisition, stockage et traitement	124
4.2.4.	ArcGIS – ArcInfo 9	125
4.3.	Le concept	126
4.3.1.	Les sources.....	127
4.3.1.1.	Des sources linéaires	127
4.3.1.2.	Le trafic « total », « transalpin » et « autre »	128
4.3.2.	Les récepteurs	128
4.3.3.	Le lien géographique.....	129
4.3.4.	Les zones homogènes	129
4.4.	Les critères de vulnérabilité	130
4.4.1.	Cadre conceptuel	130
4.4.2.	Choix des critères de vulnérabilité	130

4.4.3.	Critères environnementaux, sociaux et économiques	131
4.4.4.	Critères temporels et spatiaux	132
4.4.4.1.	Critères « inter »	132
4.4.4.2.	Critères « intra »	132
4.5.	Validation de la méthodologie par une application concrète	133
4.5.1.	La Suisse	133
4.5.2.	La population.....	133
4.5.3.	Le bruit et la pollution de l'air	133
4.5.4.	Les différents niveaux d'évaluation.....	134
Chapitre 5.	Disponibilité et acquisition des données.....	135
5.1.	Inventaire des données pour le « segment alpin »	135
5.1.1.	Le réseau	135
5.1.2.	Le trafic routier et ferroviaire	135
5.1.3.	La population.....	136
5.1.4.	Autres données	136
5.2.	Inventaire des données utilisées pour la Suisse.....	136
5.2.1.	Les données du réseau routier et ferroviaire	136
5.2.2.	Les données de trafic.....	137
5.2.2.1.	1999 - 2003.....	137
5.2.2.2.	Trafic routier total.....	137
5.2.2.3.	Trafic ferroviaire total	138
5.2.2.4.	Le trafic routier et ferroviaire transalpin de marchandises	138
5.2.3.	Les données topographiques.....	139
5.2.4.	Les données relatives aux récepteurs	140
5.2.4.1.	La population	140
5.2.4.2.	Autres données.....	140
5.3.	Incertitudes et lacunes.....	141
Chapitre 6.	Modélisation	143
6.1.	Modèles	143
6.1.1.	Un ensemble de modèles	143
6.1.2.	Les possibilités d'intégration	145
6.2.	Hypothèses de base	145
6.2.1.	Trafic transalpin de marchandises	145
6.2.1.1.	Trafic ferroviaire.....	145
6.2.1.2.	Trafic routier.....	147
6.2.2.	Les tunnels.....	147
6.3.	Traitement des données de base	148
6.3.1.	Le réseau	148
6.3.2.	La population.....	149
6.4.	Distinction et association des trafics au réseau.....	149
6.4.1.	Le trafic « transalpin ».....	149
6.4.1.1.	Le trafic routier et ferroviaire.....	149
6.4.1.2.	Résultats.....	150
6.4.2.	Le trafic « total ».....	152
6.4.2.1.	Le trafic ferroviaire	152
6.4.2.2.	Le trafic routier.....	152
6.4.2.3.	Résultats.....	153
6.4.3.	Le trafic « autre »	154
6.4.3.1.	Ferroviaire.....	154
6.4.3.2.	Le trafic routier.....	155
6.4.3.3.	Résultats.....	155
6.5.	Calcul des émissions	157
6.5.1.	Calcul des émissions sonores	157
6.5.1.1.	Le trafic ferroviaire	157
6.5.1.2.	Le trafic routier.....	158
6.5.2.	Calcul des émissions atmosphériques du trafic routier	158
6.5.3.	Pollution de l'air : comparaison des résultats obtenus avec les valeurs de l'OFEV 160	
6.6.	Calcul des immissions	164

6.6.1.	Le relief.....	164
6.6.2.	Préparation des données pour le calcul des immissions.....	165
6.6.3.	Le modèle de base pour la dispersion des émissions.....	165
6.6.4.	Calcul des immissions sonores.....	166
6.6.4.1.	Les parois antibruit.....	166
6.6.4.2.	Le trafic ferroviaire.....	167
6.6.4.3.	Le trafic routier.....	168
6.6.5.	Calcul des immissions atmosphériques (particules).....	168
6.6.5.1.	Les données météorologiques.....	168
6.6.5.2.	Le modèle.....	171
6.6.5.3.	Analyse de sensibilité.....	174
6.6.5.4.	Calage du modèle (dioxydes d'azote).....	175
6.6.6.	Association des données relatives aux immissions et à la population.....	175
6.6.7.	Calcul des immissions sonores et atmosphériques totales.....	176
Chapitre 7.	Analyse spatiale et scénario(s).....	179
7.1.	Création de zones tampons.....	179
7.2.	Création de zones homogènes.....	180
7.2.1.	Choix de critères de délimitation.....	180
7.2.2.	Elaboration des zones homogènes.....	181
7.2.3.	Intégration des données dans le modèle.....	182
7.3.	Elaboration des critères.....	183
7.3.1.	Le critère « inter ».....	183
7.3.2.	Les critères « intra ».....	183
7.4.	Elaboration de scénarios de transfert modal et/ou spatial.....	183
7.4.1.	Un scénario « test » : le « scénario 1 ».....	184
7.4.2.	Elaboration des scénarios.....	185
7.4.3.	Autres scénarios possibles.....	186
Chapitre 8.	Résultats.....	189
8.1.	Résultats obtenus.....	189
8.1.1.	Emissions de polluants atmosphériques et critère « inter » à l'échelle de la Suisse 189	
8.1.1.1.	Scénario de base.....	189
8.1.1.2.	« Scénario1 ».....	191
8.1.2.	Critères « intra ».....	192
8.1.2.1.	A l'échelle de la Suisse.....	192
8.1.2.2.	A l'échelle des cantons.....	195
8.1.2.3.	Par zones tampons.....	203
8.1.2.4.	Par zones homogènes.....	207
8.1.3.	Les zones critiques.....	211
8.1.4.	Conclusions.....	213
8.2.	Précision des résultats.....	214
8.2.1.	Les données.....	215
8.2.1.1.	Le trafic transalpin.....	215
8.2.1.2.	Le trafic total.....	215
8.2.2.	La modélisation du trafic.....	215
8.2.3.	Le calcul des émissions.....	216
8.2.4.	La modélisation de la dispersion des émissions.....	216
8.2.5.	La résolution des critères de vulnérabilité.....	216
8.2.6.	Conclusion.....	216
8.3.	Améliorations possibles.....	217
8.3.1.	Les données.....	217
8.3.2.	La modélisation du trafic.....	217
8.3.3.	La modélisation de la dispersion des émissions.....	217
8.3.4.	La modélisation des immissions.....	218
8.3.5.	L'intégration d'autres paramètres.....	218
8.3.6.	Conclusion.....	219
8.4.	Résultats envisageables pour le « segment alpin ».....	219
Chapitre 9.	Conclusions et perspectives.....	221
9.1.	Vers une répartition modale et spatiale plus durable.....	221

9.2.	Vers un outil d'aide à la décision pour le « segment alpin »	221
9.2.1.	Intérêts de la méthodologie.....	222
9.2.2.	Limites de la méthodologie	222
9.3.	Intérêt d'une recherche interdisciplinaire	223
9.4.	Intérêts et perspectives de l'étude	223
	Bibliographie.....	225
	Annexes	245

Chapitre 1. Introduction

1.1. Problématique

1.1.1. La croissance du fret

Le transport de marchandises (fret) joue un rôle essentiel dans l'activité économique, en mettant en relation les distributeurs, les consommateurs et les producteurs, et en participant à la compétitivité des entreprises ainsi qu'à l'intensification des échanges.

Au cours de ces dernières décennies, le transport de marchandises a considérablement augmenté tant à l'échelle mondiale, qu'aux niveaux européen et national. Ainsi, entre 1970 et 2000, les tonnages transportés en Europe³ ont plus que doublé, passant de 1,4 milliards de tonnes-kilomètres (t/km) à 3,1 milliards de t/km (cf. Tableau 1).

années	route	rail	total ⁴
1970	487	282	1407
2000	1348	249	3078
1970-2000	+ 177 %	- 12 %	+ 119 %
unité : milliards de t/km			

Tableau 1 : Transport de marchandises en Europe (EU-15) (EUROSTAT)

Cet accroissement est dû à de nombreux facteurs. La croissance économique qui se traduit par une intensification des échanges et donc des transports⁵, la mondialisation croissante de l'économie et l'achèvement du marché intérieur, la réduction des prix appliqués pour les transports, l'évolution des processus de production (généralisation de la livraison «just-in-time»⁶ au détriment du stockage des marchandises, le recours à la sous-traitance notamment dans des pays où le coût de la main d'œuvre est moindre, etc.), la (re)localisation des entreprises à la périphérie, en dehors des agglomérations ou loin des gares tendent à la croissance et à l'internationalisation des échanges de marchandises.

Le transport routier est le principal bénéficiaire de la croissance du trafic de marchandises. Entre 1970 et 2000, les t/km transportées sur les routes européennes ont augmenté de 177% alors que les t/km transportées sur le réseau ferroviaire ont diminué de 12% (cf. Tableau 1).

La croissance du trafic de marchandises au niveau européen s'observe également à l'échelle du « segment alpin » (Mont-Cenis/Fréjus – Brenner / cf. 3.3.1). Entre 1980 et 2004, le trafic de marchandises sur ce segment a crû de 117% passant de 50,7 millions à 110,2 millions de tonnes marchandises transportées par route et par rail (cf. Tableau 2). En 2004, 36,2% du trafic de marchandises total à travers le « segment alpin » est transporté par le rail ce qui équivaut à une diminution de 35 % de la part modale du rail par rapport à 1980.

³ EU-15

⁴ Le total comprend le transport routier, ferroviaire, fluvial, maritime (intra-EU), par pipeline.

⁵ La croissance du fret suit, d'une façon générale, les rythmes de développement de l'activité économique. Pour les pays de la CEMT (Conférence Européenne des Ministres des Transports): Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Irlande, Islande, Italie, Luxembourg, Norvège, Portugal, Royaume-Uni, Suède, Suisse, Turquie (PROFILLIDIS BOILE 2001)

⁶ « juste à temps » : Cela signifie que les produits issus de l'usine de production sont directement expédiés dans le magasin de vente ou l'atelier de finition en faisant l'économie du stockage et de toute forme de temps mort. Cette organisation permet également de mieux respecter le moment de la livraison.

années	route		rail		total
	10 ⁶ tonnes	part modale	10 ⁶ tonnes	part modale	10 ⁶ tonnes
1980	22,3	44%	28,4	56 %	50,7
2004	70,4	63,8%	39,9	36,2 %	110,2
1980-2004	+ 216 %	+ 45%	+ 41 %	-35 %	+ 117 %
unité : millions de tonnes et %					

Tableau 2 : Evolution du trafic transalpin de marchandises de 1980 à 2004 (ARE *Alpinfo* ; CLEMENT 2004)

En 2004, la part du trafic de transit dans le trafic total de marchandises à travers le « segment alpin » atteint 66 %. La répartition modale du trafic ainsi que la part du trafic de transit sont très variables selon les pays (cf. 3.4.3).

Les prévisions d'évolution du trafic de marchandises mettent en évidence une augmentation générale du trafic durant les 20 prochaines années. Cette croissance, notamment du trafic de transit⁷, devrait avoir un impact non négligeable sur les volumes transitant à travers le « segment alpin » et à travers la Suisse. Dans ce pays, le rail devrait se développer de manière particulièrement dynamique, et, suite à une inversion de tendance (cf. 1.1.5.2), augmenter considérablement sa part de marché par rapport à la route.

1.1.2. L'évolution de la structure du fret

Les deux principaux modes de transport terrestre, la route et le rail, assurant la majeure partie des échanges de marchandises intraeuropéens, ont vu leur position s'inverser. C'est au cours des années 70 que les chemins de fer commencent à subir une vive concurrence de la part du transport routier dont la part de marché augmente dès les années 1980. De 1970 à 2003, la part globale des transports routiers dans la répartition modale du trafic de marchandises au sein de l'Union Européenne (UE-15) passe de 52% à 79% (EUROSTAT), la part des transports ferroviaires diminuant quant à elle de moitié.

Les facteurs explicatifs de l'évolution de la répartition modale sont d'une part, des facteurs liés à l'évolution de l'appareil de production et d'autre part, des facteurs de compétitivité.

Les facteurs liés à l'évolution de l'appareil de production et, plus particulièrement, de l'appareil industriel, se situent en amont du marché des transports, au niveau de la demande. La réduction considérable des produits pondéreux due au déclin des industries lourdes génératrices de flux massifs (crise industrielle vers 1973), la progression consécutive des produits manufacturés⁸, et la construction des réseaux autoroutiers, ont fortement bouleversé la répartition modale du trafic de marchandises.

La spécialisation des unités de production, liée notamment au caractère plus spécifique des produits ainsi qu'aux disparités des coûts de production (par exemple les salaires), est en grande partie responsable de l'extension des aires d'approvisionnement et de distribution. L'allongement des distances moyennes de transport a également été favorisé par le prix

⁷ En Suisse, la part du trafic de transit devrait passer de 30% en 2004 à 35% en 2030 (ARE 2004).

⁸ Selon Bernadet (BERNADET 1993), le facteur « structure du fret », facteur sur lequel on ne peut intervenir, explique à lui seul 19% de la perte de trafic subie par le chemin de fer. Dans une étude, Bernadet a essayé de calculer l'évolution du trafic de chaque mode de transport à « compétitivité constante », qu'il définit comme une situation où la part de marché de chaque mode, pour chaque produit ou groupe de produit, serait resté identique à celle qu'il détenait en 1980.

relativement peu élevé du transport⁹ ainsi que par la diminution de l'effet frontière au sein du marché européen. Le gain des parts de marché de la route sur le trafic intra-européen de marchandises est notamment lié à la meilleure interopérabilité de ce mode de transport par rapport au chemin de fer.

Cette grande interdépendance entre les unités de production géographiquement dispersées exige une régularité d'approvisionnement (rapidité de réponse au marché). Ces nouvelles pratiques de gestion en « flux tendus »¹⁰ et en approvisionnement « juste à temps »¹¹ permettent aux industries de diminuer leurs stocks (« zéro stock »)¹² et donc leurs coûts de production. Désormais de nombreuses entreprises fabriquent à la demande du consommateur, en fonction du marché (stock dans les camions)¹³. Ces nouvelles stratégies industrielles nécessitent plus de transport, mais surtout, un transport de meilleure qualité¹⁴.

La livraison au « coup par coup »¹⁵ est d'autant plus recherchée que la reconversion économique oriente l'activité industrielle vers des produits finis à haute valeur ajoutée. La part du transport dans le coût final ou même dans la valeur ajoutée totale de ces produits étant plus faible, la sensibilité au prix du transport est moindre.

La répartition modale s'explique également par des facteurs de compétitivité (BERNADET 1993) relatifs à chaque mode de transport. Ils sont liés au fonctionnement même du marché des transports qui modifie les conditions de l'offre de chaque mode. Des facteurs d'ordre géographique (par exemple l'extension du réseau autoroutier), technique (le progrès des véhicules, des matériels de manutention, etc.) et organisationnel (le renforcement de la concurrence au sein du mode routier, etc.) ont participé à la modification de la compétitivité relative des différents modes de transport terrestre.

Finalement, l'évolution des techniques de production industrielle et de commercialisation a abouti progressivement à un allongement des distances parcourues, à une réduction des charges moyennes des véhicules par envoi et à une augmentation des fréquences de livraison. Ces aspects expliquent la dynamique du secteur route¹⁶ face à une quasi-stagnation des autres secteurs du transport de marchandises. La progression, dans des proportions considérables, du trafic de poids lourds, s'observe dans tous les pays industriels où ce mode de transport est en adéquation avec les exigences du système productif et de distribution.

1.1.3. Les impacts du trafic

Un impact¹⁷ sur l'environnement peut se définir comme l'effet, pendant un temps donné et sur un espace défini, d'une activité humaine sur une composante de l'environnement pris dans son sens large, c'est-à-dire englobant les aspects biophysiques et humains (WATHERN

⁹ Depuis le début du XIX^{ème} siècle, on observe une baisse tendancielle des prix des transports (transports internationaux en France (Ministère des Transports, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer ; Enquêtes Transport Routier de Marchandises (TRM) dès 1952). Cette diminution s'explique en partie par les progrès relatifs aux infrastructures, aux matériels et à l'organisation.

¹⁰ Augmentation de la fréquence des dessertes et allègement des chargements (envois plus légers et plus fréquents).

¹¹ Note de bas de page ⁶

¹² Leurs conséquences sur les transports sont significatives : réduction de la taille des envois, augmentation des fréquences de livraison donc des tonnes-kilomètre, essor de la fonction logistique qui s'intègre dans le processus industriel, polarisation des échanges autour de grandes plates-formes de collecte et de redistribution, etc.

¹³ Dominique Mignot, directeur adjoint du Laboratoire d'économie des transports, unité de recherche du CNRS.

¹⁴ C'est-à-dire plus fiable, plus sûr, plus rapide, plus fréquent et avec des unités de charge plus faibles.

¹⁵ Au « coup par coup » signifie en « juste à temps ».

¹⁶ Cette dynamique a été accélérée par d'énormes investissements dans les réseaux routiers et autoroutiers.

¹⁷ Impact : « 1827, du latin *impactum*, supin de *impingere* « heurter » ; *collision*, *heur* ; *effet d'une action forte brutale* (*effet*, *influence*) » (Petit Robert 1 1987).

1988). Ainsi, le trafic routier et le trafic ferroviaire de marchandises sont des activités génératrices d'impacts sur l'environnement.

L'environnement qu'il faut protéger des atteintes nuisibles ou incommodes comprend, selon l'article premier de la Loi fédérale sur la Protection de l'Environnement (LPE 1983), « *les hommes, les animaux et les plantes, leurs biocénoses et leurs biotopes* ». La législation privilégie la protection d'un écosystème composé d'êtres vivants, lesquels vivent en interaction avec leurs milieux.

Ainsi, la santé et la survie de l'homme de même que la biosphère sont mis directement en danger lorsqu'un milieu vital tel que l'air, l'eau (superficielle ou souterraine) ou encore le sol est affecté. Le bruit véhiculé par l'air ainsi que les vibrations transmises par le sol sont également néfastes. Ces impacts sur la mésologie¹⁸ se distinguent des impacts sur l'occupation du sol et des impacts sur le patrimoine naturel et historique (Hertig 1999).

Contrairement à la construction d'une nouvelle infrastructure de transport qui peut avoir un impact positif important (ex. : amélioration de l'accessibilité) pour les régions traversées, le trafic induit principalement des impacts négatifs. Le principal impact positif quantifiable est l'apport économique provenant de l'arrêt d'un véhicule¹⁹. Quant aux impacts négatifs, ils varient essentiellement en fonction du volume de trafic²⁰, de sa composition ainsi que des facteurs géographiques et des conditions météorologiques.

Les principaux impacts du trafic de marchandises sur la mésologie sont la pollution de l'air, le bruit, la pollution des eaux ou encore la pollution des sols. Dans une moindre mesure, le trafic a également un impact sur la mortalité des animaux, cette dernière pouvant augmenter lors de chocs entre un véhicule et un animal. Ces impacts sont fortement dépendants du mode de transport.

Le trafic de marchandises qui est à l'origine du rejet de différents polluants atmosphériques peut modifier la qualité de l'air. Le rejet de polluants provient essentiellement du transport routier qui est assuré par des véhicules équipés d'un moteur diesel. Du fait de la combustion incomplète des produits pétroliers, ce mode de transport émet de nombreux polluants tels que du dioxyde de carbone (CO₂), du monoxyde de carbone (CO), des oxydes d'azote (NO_x), des poussières fines (PM), des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ou encore des composés organiques volatiles (COV). Le transport ferroviaire fonctionnant essentiellement à l'électricité en Europe, la pollution indirecte induite par ce mode de transport dépend essentiellement de la forme de production de cette énergie²¹. Dans une moindre mesure, le transport ferroviaire est également à l'origine d'émission directe de particules fines ou d'autres substances telles que le fer. Ces émissions se composent pour une part minime des gaz d'échappement des locomotives diesels et pour l'essentiel de l'usure par friction des freins, des roues, des rails et des caténaires. Les polluants atmosphériques émis par le trafic routier et, dans une moindre mesure, par le trafic ferroviaire produisent des effets tant au plan local (ex.: particules, CO), régional (ex.: NO_x, ozone) que mondial (ex.: CO₂ : contribution au réchauffement climatique ; SO₂ (dioxyde de soufre), NO_x : contribution aux pluies acides). Ils affectent directement la qualité de l'air et indirectement la santé et le bien-être des êtres vivants et de la biosphère. Les principales voies d'exposition des êtres vivants aux contaminants sont l'inhalation, l'ingestion, l'absorption dermique ou transdermique. Une fois présentes dans l'organisme, ces substances peuvent avoir des effets

¹⁸ Mésologie : « *n.f., Science qui étudie l'influence exercée sur l'homme, les animaux et les plantes par le milieu où ils vivent* » (Larousse, vol. 2 1966).

¹⁹ Stations services, restauration, hôtellerie, etc.

²⁰ Les émissions polluantes et sonores sont plus importantes lorsque le système est congestionné.

²¹ En Suisse, en 2000, 99,75% de l'énergie de traction était d'origine hydraulique alors que le 0,25% restant provenait du nucléaire. Ces énergies ne produisent aucun polluant atmosphérique direct (WERMEILLE DEGELO 2002).

toxiques systémiques, cancérigènes, mutagènes, tératogènes et enfin des effets sur la reproduction et le développement²².

Le trafic routier comme le trafic ferroviaire sont également des sources importantes de bruit et de vibration à l'échelle locale. Au-delà d'une certaine vitesse²³, le bruit du roulement (pneus, roues ou rails) couvre le bruit mécanique (moteur, frein et matériel roulant). Outre son caractère désagréable, le bruit peut être à l'origine d'une gêne psychologique, fonctionnelle ou physiologique. L'impact indirect du bruit et des vibrations sur la santé peut se traduire par du stress, des troubles du sommeil ou encore des maladies cardio-vasculaires. Ces nuisances ont également un impact indirect sur la valeur locative ou d'achat des logements et bâtiments. Les pollutions sonores et atmosphériques dépendent fortement de la charge du trafic. En effet, la congestion de certains axes routiers tend parfois à augmenter ces nuisances.

Le trafic de marchandises, essentiellement routier, affecte également de manière directe et indirecte la qualité de l'eau et du sol. Les gaz d'échappement ainsi que les pollutions accidentelles sont tous deux sources de déversements d'hydrocarbures et de substances chimiques dangereuses qui, en ruisselant de la route, affectent les eaux de surfaces, les eaux souterraines et les sols. Cette contamination a un impact indirect sur la santé des êtres vivants et de la biosphère.

Les différents impacts induits par les transports routier et ferroviaire, à l'exception du bruit, sur la mésologie sont résumés dans le Tableau 3.

	Pollution de l'air	Pollution de l'eau	Pollution du sol	Santé et sécurité
Route	***	*	***	***
Rail	*		**	*

Tableau 3 : Classification des impacts sur l'environnement par modes de transport (NIJKAMP 1994)

Aux effets sur l'environnement et la santé s'ajoutent les conséquences liées à la congestion. Cette dernière provoque différents effets portant sur la qualité de l'environnement (surconsommation de carburants, pollution atmosphérique accrue, nuisances acoustiques augmentées), sur la santé (stress, pollution accrue) ainsi que sur l'économie (retards infligés aux utilisateurs de la route et aux marchandises, etc.).

Durant les deux dernières décennies, de nombreux progrès techniques (ex.: amélioration de la qualité des carburants, de l'efficacité des véhicules, du contrôle des gaz d'échappement ; introduction de carburants de remplacement) visant à réduire les émissions nocives des véhicules ont été pris en compte. Malheureusement ces efforts ont rapidement été réduits à néant par la croissance du trafic.

En effet, la croissance continue de la demande et donc des volumes transportés et des distances parcourues ainsi que l'accroissement du secteur routier dans la répartition modale est la cause directe de l'augmentation des nuisances dues au trafic de marchandises. La position dominante du transport routier dans le trafic de marchandises est aujourd'hui préoccupante.

Cette évolution est particulièrement préoccupante dans la région alpine du fait des caractéristiques topographiques et météorologiques de ce massif. Le trafic se concentre sur un

²² Gestion des risques, www.enviro2b.com

²³ Seuil variable en fonction des modes et des types de véhicule.

nombre restreint d'itinéraires ; les polluants atmosphériques et le bruit émis s'accumulent dans les vallées où les conditions de dispersion sont défavorables²⁴.

1.1.4. Le concept de développement durable appliqué au transport

Quel que soit le mode de transport utilisé, le trafic de marchandises a des répercussions environnementales, sociales et économiques.

Les préoccupations environnementales apparaissent durant les années soixante et soixante-dix. Sous la pression démographique et technique, les éléments environnementaux sont devenus des ressources épuisables. La raréfaction et la fragilisation des ressources naturelles mais également la médiatisation des premières grandes pollutions sont notamment à l'origine de cette prise de conscience. En 1972, au sein du rapport du Club de Rome intitulé « Halte à la croissance ? Rapport sur les limites de la croissance » (rapport Meadows), intervient la première véritable rencontre de l'économie et de l'écologie. Ce rapport démontre que la destruction de l'environnement progresse rapidement et propose une politique supranationale contre la croissance démographique, le gâchis de matières premières et la destruction de l'environnement. La même année, lors de la conférence des Nations Unies sur l'environnement à Stockholm²⁵, il est reconnu que la protection de l'environnement et la gestion efficace des ressources naturelles sont des questions majeures qui affectent le bien-être des populations et le développement économique dans le monde entier.

Cette prise de conscience collective que l'on vit dans un monde fini²⁶, amène à un nouveau mode de développement. Le rapport Brundtland de 1987 constitue l'acte de naissance du développement durable²⁷ : « *Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs* » (COMMISSION BRUNDTLAND 1987). Depuis la conférence de Rio de Janeiro de 1992, la communauté internationale reconnaît le développement durable comme un objectif (engagements solennels et conventions). Cette notion suppose que la voie à suivre dépasse le cadre économique pour intégrer des facteurs environnementaux et sociaux.

En Suisse, le principe du développement durable, inscrit dans la nouvelle Constitution fédérale²⁸, prévoit que la Confédération et les cantons œuvrent à « *un équilibre durable entre la nature, en particulier sa capacité de renouvellement, et son utilisation par l'être humain* » (article 73).

Le secteur des transports est devenu le pollueur le plus important de l'environnement durant les deux dernières décennies (NIJKAMP 1994). Cela s'explique principalement par le fait que la croissance du trafic bénéficie principalement au transport routier. Le trafic de marchandises²⁹, et plus particulièrement le trafic routier de marchandises, participe au réchauffement climatique de la planète, à la pollution de l'air, aux nuisances sonores ainsi qu'à l'impact sur la santé et la sécurité des êtres humains. Ces problèmes sont perçus comme

²⁴ Cette concentration est notamment liée aux échanges plus limités entre les masses d'air (canalisation des vents dans les vallées, fréquentes inversions thermiques) et au profil des versants.

²⁵ Déclaration adoptée le 16 juin 1972

²⁶ « *Le concept de développement durable est né de la tendance croissante à considérer notre planète et les éléments indispensables à la vie qu'elle recèle comme un capital qu'il convient de gérer avec sagesse et prudence* » (KESELJEVIC 2003).

²⁷ La littérature montre une abondance de définitions possibles du développement durable (BARBIER 1989 ; PEARCE et al. 1990 ; PEZZEY 1989 ; HOLMBERG and SANDBROOK 1992). La plus citée et probablement la plus officielle est celle du rapport Brundtland. Cette définition laisse toutefois une grande liberté d'interprétation dans la mesure où le concept de besoin renvoie à la subjectivité de chacun.

²⁸ L'article 2 mentionne que la Confédération « ... favorise la prospérité commune, le développement durable, la cohésion interne et la diversité culturelle du pays » (CH 2005).

²⁹ Cette recherche aborde essentiellement les problèmes de durabilité générés par les déplacements de marchandises.

les problèmes majeurs de la durabilité (AKINYEMI ZUIDGEEST 1998 ; WHITELEGG 1993 ; DIJKSTRA 1997 et HAQ 1997).

Compte tenu de son fonctionnement à l'électricité d'origine hydraulique (renouvelable), de l'absence de rejet de gaz à effet de serre et de l'amélioration en cours de ses véhicules (diminution des émissions sonores), le transport ferroviaire s'avère être à l'heure actuelle le principal mode de transport pouvant efficacement contribuer à un système de transport plus durable en Suisse et en Europe.

A l'heure actuelle, il n'existe pas de définition communément admise du transport durable (ENVIRONNEMENT CANADA 1997 ; LITMAN 2003). Issu de la combinaison de « développement durable » et de « transport », ce concept implique l'application des idées du développement durable au système de transport.

Comme toute notion de durabilité, le concept de transport durable englobe des préoccupations:

- environnementales (atteintes aux écosystèmes et à la biodiversité, ressources naturelles, utilisation du sol, etc.) ;
- sociales (santé publique, sécurité, qualité de vie, emplois, partage équitable des coûts, équité, accessibilité, consultation, liberté d'action, etc.) ;
- économiques (niveau d'échange assurant à chacun un bien-être social et économique « raisonnable », viabilité à long terme des systèmes de transport impliquant une utilisation efficiente des ressources, services de transport à coûts accessibles dans des délais acceptables, développement socio-économique équilibré, efficacité des coûts, viabilité économique, productivité, valeur d'option).

La Figure 1 donne une représentation de l'interaction des trois domaines de la durabilité et de ses principaux critères dans le domaine des transports.

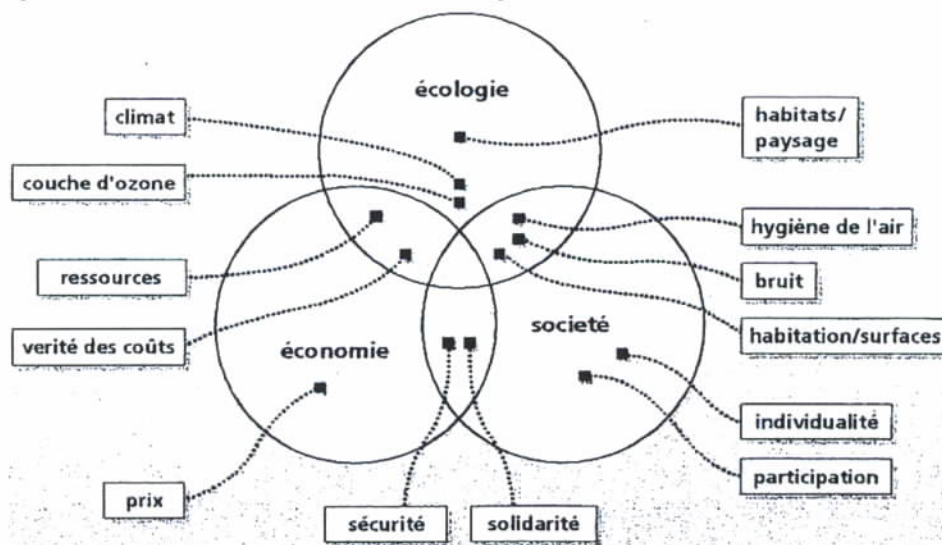


Figure 1 : Critères de durabilité dans le domaine des transports (EBP 1998)

Un transport durable est parfois défini comme un système de transport respectueux des limites environnementales (notion de limites³⁰), efficient d'un point de vue économique (notion d'efficience du système) et socialement équitable (notion de répartition) (EBP 1998). La recherche d'un arbitrage équitable entre ces différentes préoccupations, la prise en compte de principes généraux (ex.: équité intra- et intergénérationnelle) ainsi que la considération des

³⁰ La vision environnementale fait référence aux limites environnementales et aux limites du développement économique.

dimensions spatiale et temporelle sont à la base de toute stratégie de transport durable (cf. Figure 2). Dans cette approche, la dimension spatiale apparaît comme essentielle puisqu'elle permet de mettre en relation les impacts et les seuils d'acceptabilité.

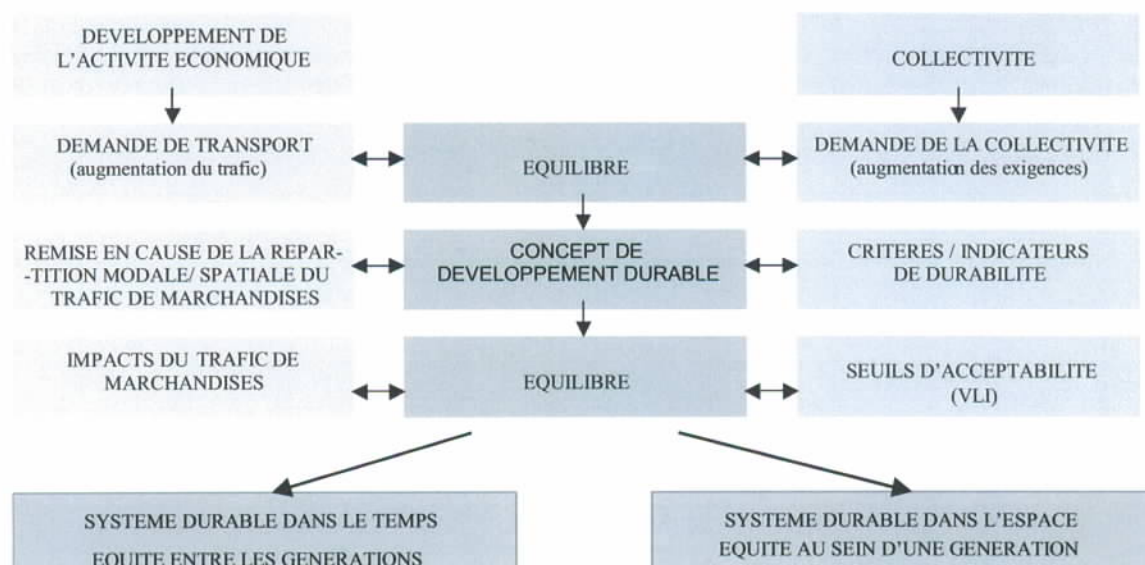


Figure 2 : Un système de transport durable – synthèse (ARNAUD 2003a)

Cette notion de transport durable, tout comme la notion de durabilité, est en perpétuelle évolution : « *Plus qu'à un état pleinement défini, la notion de « transports durables » renvoie davantage à un processus évolutif et spécifique d'une entité géographique dont les objectifs prioritaires et les moyens doivent évoluer constamment en fonction des changements économiques, sociaux, environnementaux et technologiques engendrés par les processus de développement* » (CEESE 1999).

Afin que le système de transport actuel réponde aux objectifs du développement durable, il est nécessaire de réduire l'incidence négative des transports et plus particulièrement du trafic routier sur l'environnement en encourageant les mesures permettant d'atteindre des volumes et des structures de transport compatibles. La contribution de tous les modes de transport, leur combinaison ainsi qu'un aménagement du territoire adapté sont capitaux pour rendre l'ensemble du système plus durable.

1.1.5. Les politiques européennes et suisses de transport

1.1.5.1. Europe

Bien que l'Union Européenne soit chargée de mettre en œuvre une politique commune des transports depuis le milieu du XX^{ème} siècle (traité de Rome de 1957), ce n'est que depuis l'adoption du traité de Maastricht³¹, en 1992, qu'elle dispose de réelles compétences pour prendre des mesures dans le domaine des transports.

³¹ Le traité prévoit le développement de réseaux transeuropéens de transports, de télécommunications et d'énergie pour faire face au manque de liaisons directes transfrontalières et répondre à la globalisation de l'économie européenne.

Dès 1992, des prescriptions ont été adoptées par le Conseil de l'Union Européenne afin de faciliter le développement du transport combiné³². La même année, le premier livre blanc « sur le développement futur de la politique commune des transports » (COMMISSION EUROPEENNE 1992) a été publié. Il souligne l'urgence d'une stratégie globale (ouverture du marché) et le caractère indispensable de la multimodalité³³. Des programmes pilotes (PACT – Pilot Actions Combined Transport) sont alors lancés. Bien que l'ouverture des marchés du transport fût une réussite, des distorsions de concurrence existent en raison d'un manque d'harmonisation fiscale et sociale.

Actuellement, le système de transport européen est confronté à un certain nombre de difficultés en raison de l'absence d'un développement harmonieux de la politique commune des transports : croissance inégale des différents modes de transport ; congestion sur certains grands axes routiers et ferroviaires ; nuisances vis-à-vis de l'environnement ou de la santé des citoyens ; insécurité sur les routes.

L'objectif de développement durable est introduit dans la politique commune des transports par l'article 2 du traité d'Amsterdam de 1999 : « *La Communauté a pour mission, ..., de promouvoir dans l'ensemble de la Communauté un développement harmonieux, équilibré et durable des activités économiques* ». Cet objectif doit notamment être atteint par l'intégration des considérations environnementales dans les politiques communautaires. En 2001, le rééquilibrage des modes de transport a été placé au cœur de la stratégie de développement durable par le Conseil européen de Göteborg. Le livre blanc (COMMISSION EUROPEENNE 2001) de la même année présente des mesures afin d'atteindre un système de transport durable d'ici 2030. Cette publication précise que certaines mesures, plutôt que d'être prises au niveau communautaire, doivent passer par des choix nationaux ou régionaux. C'est notamment le cas en ce qui concerne l'obligation de transporter des marchandises par le train au lieu de la route.

Finalement, l'Union Européenne cherche à établir une stratégie à long terme qui vise à favoriser un système de transport plus durable notamment par un rééquilibrage des modes de transport en améliorant la compétitivité du transport ferroviaire³⁴ et par une suppression des goulets d'étranglement. Une série de mesures et de moyens est envisagée dans ce sens : tarification progressive de l'usage des infrastructures ; revitalisation des modes de transport alternatifs à la route (ex. : ouverture des marchés nationaux de fret au cabotage ; fixation d'un haut niveau de sécurité ferroviaire ; garantie de la qualité de service ; création d'un réseau dédié au fret) ; amélioration de la chaîne intermodale (ex. : standardisation des conteneurs et des caisses mobiles) ; investissements ciblés dans le réseau transeuropéen. L'objectif de rééquilibrage nécessite également des mesures dans le cadre d'autres politiques telles que les politiques économique, budgétaire et fiscale et d'aménagement du territoire.

³² L'article premier de la directive 92/106 du 7 décembre 1992 relative à l'établissement de règles communes pour certains transports de marchandises entre les Etats membres donne une définition du transport combiné : « *Aux fins de la présente directive, on entend par « transports combinés » les transports de marchandises entre les Etats membres pour lesquels le camion, la remorque, la semi-remorque, avec ou sans tracteur, la caisse mobile ou le conteneur de 20 pieds et plus utilisent la route pour la partie initiale ou terminale du trajet et, pour l'autre partie, le chemin de fer ou une voie navigable, ou un parcours maritime lorsque celui-ci excède 100 kilomètres à vol d'oiseau, et effectuant le trajet initial ou terminal routier : soit entre le point de chargement de la marchandise et la gare ferroviaire d'embarquement appropriée la plus proche pour le trajet initial et entre la gare ferroviaire de débarquement appropriée la plus proche et le point de déchargement de la marchandise pour le trajet terminal ; soit dans un rayon n'excédant pas 150 kilomètres à vol d'oiseau à partir du port fluvial ou maritime d'embarquement ou de débarquement* » (Commission Européenne 1992a)

³³ Le transport multimodal est une prestation de transport de marchandises qui associe, dans une chaîne de transport constituée de plusieurs maillons, des techniques et des modes de transport différents.

³⁴ La première directive du Conseil sur le développement des chemins de fer communautaire (91/440/CEE) vise à augmenter la compétitivité du rail par rapport à la route en renforçant la concurrence des entreprises ferroviaires par l'ouverture des réseaux ferrés.

La politique européenne ne propose aucune mesure spécifique concernant les transports en milieu alpin. Toutefois, en 1992 lors du sommet de Rio de Janeiro, la montagne est reconnue en tant qu'écosystème sensible et source importante de ressources naturelles dans l'article 13 « Gestion des écosystèmes fragiles : mise en valeur durable des montagnes » de l'Agenda 21 (NATIONS UNIES 1993)³⁵. En 1994, la « Charte européenne des régions de montagne » vise, quant à elle, à définir une politique globale pour les montagnes. Le 27 novembre 1997, c'est la déclaration de Vienne qui reconnaît l'importance de la protection des zones dites sensibles. Les zones sensibles sont « *les zones dont les écosystèmes sont particulièrement sensibles, où les conditions géographiques et la topographie risquent d'accroître la pollution et le bruit ou dans lesquelles il existe des ressources naturelles ou un patrimoine culturel uniques* » (COMMISSION ECONOMIQUE DES NATIONS UNIES POUR L'EUROPE 1997). La déclaration incite à la réduction de l'incidence négative des transports et de la circulation sur l'environnement et la santé de l'homme en encourageant les mesures propres à atteindre des volumes et des structures de transport compatibles avec un développement durable.

Compte tenu de cette absence de politique européenne spécifique au milieu alpin et plus particulièrement aux transports dans les Alpes ou autres zones dites sensibles, plusieurs initiatives relatives au transport alpin ont été mises en œuvre (GIORGI SCHMIDT 2005). Ainsi, les pays de l'arc alpin³⁶ et l'Union Européenne ont convenu d'établir la « Convention pour la protection des Alpes », qui cherche à coordonner les politiques de développement durable dans tout l'arc alpin. La Convention alpine, signée en 1995, et ses protocoles d'application, comportent un grand nombre d'objectifs qui ont d'ores et déjà un caractère contraignant pour les Etats signataires³⁷. Le transfert sur le rail du transport à longue distance des marchandises constitue l'une des priorités du protocole « transports ». A ce sujet, l'article 2 de la Convention stipule que : « *les Parties contractantes prennent des mesures appropriées, notamment dans les domaines suivants : j) transports – en vue de réduire les nuisances et les risques dans le secteur du transport interalpin et transalpin, de telle sorte qu'ils soient supportables pour les hommes, la faune et la flore ainsi que pour leur cadre de vie et leurs habitats, notamment par un transfert sur la voie ferrée d'une partie croissante du trafic, en particulier de trafic de marchandises, notamment par la création des infrastructures appropriées et de mesures incitatives conformes au marché, sans discrimination pour des raisons de nationalité.* »

1.1.5.2. Suisse

La Suisse mise sur une politique qui intègre le développement durable dans les différents domaines dont les transports. S'agissant du trafic lourd, le Parlement et les citoyens suisses se sont prononcés, à travers différentes votations, en faveur du transfert vers le rail du trafic de marchandises de longues distances ainsi que pour le renforcement de l'infrastructure ferroviaire. Afin d'atteindre ces objectifs, la politique suisse des transports repose sur trois principaux piliers qui sont : la Redevance sur le trafic des Poids Lourds liée aux Prestations (RPLP), la modernisation de l'infrastructure ferroviaire par le biais notamment de la construction de Nouvelles Lignes Ferroviaires Alpines (NLFA) et l'ouverture du marché ferroviaire (METZ 2004).

³⁵ 173 pays adoptent l'Agenda 21 lors du sommet de Rio de Janeiro en 1992. L'agenda 21 est une déclaration qui fixe un programme d'actions pour le XXI^e siècle dans des domaines très diversifiés afin de s'orienter vers un développement durable de la planète.

³⁶ Autriche, Allemagne, France, Italie, Liechtenstein, Monaco, Suisse, Slovénie

³⁷ Fin 2005, la Suisse a signé l'ensemble des protocoles mais aucun n'a été ratifié ou n'est entré en application à l'exception du protocole de Monaco.

Depuis l'approbation de l'initiative populaire fédérale « pour la protection des régions alpines contre le trafic de transit » (dite « Initiative des Alpes ») par une majorité du peuple et des cantons, le 20 février 1994, le transfert du trafic lourd de la route au rail figure dans la Constitution fédérale sous la forme d'un article relatif à la protection des Alpes. L'article 36sexies sur la protection des Alpes de 1994, devenu l'article 84 dans la nouvelle Constitution fédérale de 1998, stipule que la zone alpine doit être protégée des effets négatifs du trafic de transit en transférant sur le rail le trafic de marchandises et en renonçant à toute augmentation de la capacité des routes dans la zone alpine :

« ¹ La Confédération protège la zone alpine contre les effets négatifs du trafic de transit. Elle limite les nuisances causées par le trafic de transit de telle sorte que les êtres humains, les animaux et les plantes ainsi que leurs espaces vitaux n'en subissent pas de dommage.

² Les marchandises transitant d'une frontière à l'autre à travers les Alpes sont transportées par le rail. Le Conseil fédéral fixe les mesures à prendre par voie d'ordonnance. Des dérogations à cette règle ne sont accordées que si elles sont indispensables; les conditions en sont spécifiées dans la loi.

³ La capacité des routes de transit dans les régions alpines ne doit pas être augmentée. Les routes de contournement destinées à désengorger les localités ne tombent pas sous le coup de cette disposition. »³⁸

Quatre mois après l'acceptation de l'initiative populaire, soit le 17 juin 1994, le Parlement adoptait la « loi fédérale sur le transit routier dans la région alpine » (LTRA). Communément appelée loi sur le transit routier, elle régit la mise en œuvre de l'article sur la protection des Alpes (36sexies / 84).

Le 1^{er} janvier 2001, c'est au tour de la « loi sur le transfert du trafic » d'entrer en vigueur. Cette loi vise à réduire de moitié le trafic de marchandises routier transalpin par rapport à son volume de 1999, soit à le ramener à quelque 650'000 courses annuelles, ceci le plus rapidement possible et au plus tard deux ans après l'ouverture du tunnel de base du Lötschberg (vers 2009). Il se peut toutefois que, compte tenu de la situation actuelle, ce délai soit repoussé.

Dans le but d'harmoniser le transport routier européen avec la Suisse et de mettre en œuvre des moyens pour favoriser le transfert du trafic de la route vers le rail un « accord sur le transit entre la Suisse et l'Union Européenne » est signé en 1992. Avec cet accord, l'Union Européenne reconnaît la politique des transports de la Suisse³⁹. En 2001, l'accord sur le transit est remplacé par l'accord bilatéral sur les transports terrestres⁴⁰.

La politique suisse des transports, compte tenu de la position géographique du pays, se concentre notamment sur les problèmes liés au trafic de transit de marchandises et, par conséquent, au trafic transalpin. Le conseiller fédéral Moritz Leuenberger précise toutefois que la politique des transports ne se résume pas à la problématique alpine : « *Je ne peux donc accepter un traitement particulier des Alpes que comme amorce d'une politique durable qui sera valable partout et... qui descendra des montagnes comme une eau pure pour fertiliser les plaines* » (LEUENBERGER 1999).

Finalement, à la différence de la France, de l'Autriche et de l'Italie, la Suisse a engagé des investissements considérables pour favoriser le transport ferroviaire par des tunnels de base à

³⁸ Article 84 de la Constitution fédérale de la Confédération suisse (CH 2005)

³⁹ Tandis que la Suisse s'engage à construire les Nouvelles Liaisons Ferroviaires Alpines (NLFA), l'Union Européenne autorise la limite à 28 tonnes, l'interdiction de circuler la nuit et le dimanche et l'introduction progressive de la vérité des coûts.

⁴⁰ L'Union Européenne supprime la limite des 28 tonnes alors que la Suisse introduit la Redevance sur le trafic des Poids Lourds liée aux Prestations (RPLP) dès le 1^{er} janvier 2001.

grand débit afin de diminuer l'impact des transports routiers sur la santé et sur les écosystèmes.

1.1.6. Le développement du transport combiné

L'Union Européenne ainsi que les Etats membres misent sur une politique des transports qui intègre le développement durable. Un consensus a été trouvé sur la nécessité d'un rééquilibrage des modes de transport et plus particulièrement en faveur du transfert de la route vers le rail du trafic de marchandises à longues distances. L'association de moyens économiques, réglementaires et techniques apparaît fondamentale pour parvenir à un système de transport durable. Dans ce contexte, le transport combiné apparaît comme une option technique majeure.

Les caractéristiques de l'offre routière (prix, souplesse, rapidité, fiabilité, flexibilité) déterminent désormais les exigences en matière de transport de marchandises ; il est nécessaire d'offrir une véritable alternative au transport routier pour parvenir à un transfert modal durable des marchandises.

Le développement du transport intermodal⁴¹, qui vise à associer l'efficacité de plusieurs modes le long d'une chaîne de transport, présente une alternative intéressante. Par efficacité, il faut entendre le coût compétitif pour une qualité du transport (temps de parcours, fiabilité de l'heure de livraison, sécurité de l'objet du transport, etc.) d'autant plus si l'on considère les coûts énergétiques, environnementaux et sociaux. L'objectif, comme le rappelle la stratégie du DETEC⁴² définie en décembre 1999, est d'aboutir à l'utilisation la plus efficiente possible du réseau de transport en optimisant la distribution du trafic entre les modes.

Le terme de transport combiné, contrairement au concept d'intermodalité, distingue quel mode de transport est utilisé pour quel parcours, ces modes étant toutefois différents selon les définitions⁴³ : « *par transport combiné, on entend la combinaison d'au moins deux modes de transport au sein d'une même chaîne de transport dans laquelle n'intervient aucun changement de contenant et dont la plus grande partie du trajet s'opère par chemin de fer, voie navigable ou maritime, pour que les parcours initiaux et terminaux par route soient aussi courts que possible* » (ARNAUD 2003b). Ainsi, le transport combiné permet une conjonction des avantages propres à deux modes de transport. Les transports ferroviaire, fluvial et maritime, aptes au transport de grandes quantités sur de longues distances, efficaces en termes de consommation énergétique et de pollution, sont utilisés pour la partie principale du trajet. Les trajets initiaux et terminaux de courtes distances sont assurés par le transport routier qui a l'avantage de pouvoir couvrir l'ensemble du territoire. Le développement de cette technique devrait incontestablement contribuer à un développement socio-économique durable, respectueux de l'environnement, basé sur une utilisation raisonnée, raisonnable et équilibrée des capacités existantes.

Sous l'appellation transport combiné rail-route ou ferroulage, on distingue le transport combiné non accompagné (TCNA) du transport combiné accompagné (TCA) appelé aussi

⁴¹ Par transport intermodal on entend l'acheminement d'une marchandise utilisant plusieurs modes de transport, mais demeurant dans le même contenant. Le contenu se trouve dans des unités de charge normalisées : conteneurs, caisses mobiles, semi-remorques, ensembles routiers adaptés.

⁴² Département fédéral de l'Environnement, des Transports, de l'Energie et de la Communication. Anciennement DFTCE (Département Fédéral des Transports, des Communications et de l'Energie).

⁴³ La définition de la Commission Européenne parle de transport combiné lorsque le transport ferroviaire, fluvial ou maritime est utilisé pour le trajet principal alors que la définition de la CEMT (Conférence Européenne des Ministres des Transports) ne mentionne que le transport ferroviaire ou fluvial (ARNAUD 2003b).

autoroute roulante. Alors que le premier consiste dans le transport de conteneurs, de caisses mobiles ou de semi-remorques, le second est une technique de transroulage qui permet de mettre des camions sur des trains composés de wagons à plancher surbaissé (transport d'un ensemble routier complet, de son chargement et de son conducteur). Ces deux techniques ont des aires de marché très différentes (ARNAUD 2003b). De ce fait, c'est principalement le développement du TCNA, bien qu'il nécessite une massification des flux, qui devrait à long terme contribuer dans une large mesure à trouver une solution aux trafics intra-européens et au transit transalpin de marchandises. Le TCA, quant à lui, est voué essentiellement à résoudre des problèmes spécifiques aux vallées alpines ou aux régions dites « sensibles ». Ce dernier, contrairement au TCNA, n'est pas envisagé comme une solution durable sur le long terme à l'échelle européenne : « ...la Suisse souhaite, à moyen et long terme, un développement des transports combinés non accompagnés mais qu'à court terme, elle met l'accent sur le ferroutage⁴⁴ » (RÖTHLISBERGER 2002). De plus, le TNA est moins intéressant en terme de sécurité étant donné qu'il ramène les risques liés aux poids lourds marchandises sur le transport ferroviaire.

1.2. Objectifs de l'étude

Compte tenu de la problématique et de l'état de la recherche (cf. Chapitre 2), cette étude vise à contribuer à la recherche d'un système de transport plus durable et, plus précisément, à vérifier les hypothèses suivantes :

- le trafic transalpin de marchandises a un impact significatif sur les immissions sonores et atmosphériques observées dans les régions traversées ;
- une modification de la répartition modale et/ou spatiale du trafic transalpin de marchandises permet de réduire ces immissions ;

En relation avec ces deux hypothèses, cette recherche vise à répondre aux questions suivantes :

- cette réduction a-t-elle une influence sur le respect des valeurs limites d'immission et du principe d'équité du concept de développement durable ?
- comment comparer la situation le long des différents corridors alpins du « segment alpin » ?
- est-ce qu'une méthodologie peut-être développée sur la base du concept de vulnérabilité (cf. 3.6) ?

Afin de vérifier ces hypothèses et de répondre à ces questions, cette thèse a pour principal objectif de développer une méthodologie applicable à l'ensemble du « segment alpin » (Fréjus-Brenner – cf. Figure 8) et permet :

- d'évaluer l'impact du trafic routier et ferroviaire transalpin de marchandises sur la vulnérabilité des régions traversées compte tenu de la variation observée entre une situation tenant compte de l'ensemble du trafic et une situation considérant uniquement le trafic ne transitant pas à travers les Alpes ;
- d'observer l'effet induit par un changement de la répartition modale et/ou spatiale du trafic transalpin (élaboration d'un scénario) ;
- de comparer la situation dans différentes régions à l'aide d'indicateurs relativement simples (nombre de personnes soumises à des valeurs d'immissions supérieures aux Valeurs Limites d'Immissions (VLI)) découlant d'un ensemble de définitions et d'objectifs (cadre basé sur les objectifs ; approche scénario).

⁴⁴ Ferroutage entendu ici comme le transport combiné accompagné.

Basée sur une approche géographique, cette étude vise à évaluer l'importance de la dimension spatiale et l'utilité de l'analyse spatiale pour répondre aux problématiques faisant référence au concept de développement durable. Ainsi, concernant la problématique du trafic transalpin de marchandises, l'appréhension des interactions entre ce trafic et les territoires traversés, tenant compte de la localisation et de la densité des flux de trafic mais également des différents récepteurs de nuisances, apparaît comme une problématique actuelle.

Cette recherche interdisciplinaire a pour but de développer une méthode basée sur la mise en relation des connaissances, des modèles et outils provenant de plusieurs disciplines et d'envisager ainsi une approche globale. Compte tenu de l'étendue de la thématique abordée, la méthodologie développée restera simplifiée et pourra facilement être améliorée et complétée par la suite si cela est souhaité (utilisation de modèles plus performants et plus précis développés dans chacune des disciplines concernées).

Dans le cadre de cette étude, il est envisagé de développer une méthode similaire quel que soit le mode de transport considéré. Ainsi, une certaine homogénéité est recherchée lors de l'utilisation de modèles provenant d'autres projets.

Le but est également de développer une méthode générique, c'est-à-dire applicable à différents types de trafic, à différents modes de transport ou encore à différentes nuisances. Sur le même concept un nombre important d'indicateurs devrait également pouvoir être développés.

Afin de pouvoir estimer la faisabilité de l'application de cette méthode au niveau du « segment alpin », des données disponibles dans les quatre pays concernés (Suisse, Autriche, France, Italie) sont utilisées dans la mesure de leur disponibilité.

Pour tester la validité de la méthode, une application concrète est réalisée sur l'ensemble du territoire suisse. Elle tient compte des trafics ferroviaires et routiers et des nuisances sonores et atmosphériques qu'ils génèrent. Le développement d'indicateurs se base quant à lui sur les données d'immissions (concentrations) obtenues et sur la répartition spatiale de la population.

« Currently there is no consensus on the overall comparative environmental impacts of the various surface transport modes. » « The ideal methodology would be to provide a GIS mapping of the impacts and have a charging system that reflected the distribution pattern in space and time. This would, however, almost certainly be too complex to establish and administer » (VASSALLO 2005).

1.3. Organisation de l'étude

La présentation de cette étude se subdivise en 9 chapitres qu'il est possible de regrouper en trois parties.

Dans une première partie, ce rapport présente le contexte général des transports en Europe et dans les Alpes et de l'évaluation de leurs impacts (chapitres 1 et 2) afin de définir le champ d'étude et les concepts (chapitre 3) pour le développement d'une méthodologie permettant d'évaluer la vulnérabilité des régions traversées au trafic.

Une seconde partie est consacrée à la méthodologie, à ses concepts (chapitre 4) et à son application au niveau du territoire suisse (chapitres 4, 5 et 6).

La troisième partie présente les résultats obtenus à l'échelle de la Suisse, une analyse critique de la méthodologie et les perspectives.

Les annexes présentent principalement des compléments sur les aspects techniques de la modélisation dans le cadre de l'application de la méthodologie au niveau du territoire suisse.

Chapitre 2. Etat de la recherche

Au niveau de la Suisse et de l'Union Européenne, la réorientation des politiques et des pratiques en matière de transport vers des modèles plus durables - qui visent à maintenir l'intégrité de l'environnement, à améliorer l'équité sociale (dont le bien-être et la qualité de vie) ainsi qu'à améliorer l'efficacité économique (HARDI BARG 1997) - est reconnue comme étant une nécessité.

Compte tenu de l'apparition de ces nouvelles préoccupations, de nouveaux objectifs et cibles ont été fixés afin d'aider les responsables de la prise de décision à opter pour des politiques et pratiques qui vont dans le sens du développement durable. Dans ce contexte, le besoin d'évaluer ou encore de mesurer apparaît comme essentiel étant donné la nécessité d'évaluer les politiques et les mesures mises en œuvre ou encore les progrès réalisés pour atteindre ces objectifs.

Dans une première partie, ce chapitre présente un bref historique de l'évaluation de l'impact sur l'environnement ainsi que les principales méthodes utilisées dans ce domaine. Il se poursuit par la présentation des recherches internationales, nationales et alpines concernant l'évaluation des impacts sur l'environnement induits par les transports.

Bien qu'aucune méthode de mesure ne soit normalisée à ce jour concernant l'évaluation de la durabilité, il apparaît toutefois que les problèmes complexes associés au développement durable exigent souvent le recours à des ensembles d'indicateurs. Ainsi dans une troisième partie, un bref historique des systèmes d'indicateurs de développement durable, l'intérêt des indicateurs ainsi que les principaux cadres conceptuels utilisés, sont exposés. Ce chapitre est ensuite consacré à la présentation des recherches, menées au niveau international, national et alpin, permettant d'évaluer la durabilité d'un système de transport au moyen d'indicateurs de durabilité⁴⁵.

La cinquième et dernière partie conclut sur l'état de la recherche et met l'accent sur les aspects directement liés à l'objet de cette thèse.

Afin de comprendre les motivations à l'origine de cette recherche, la revue de cet état de la recherche se focalise principalement sur les recherches considérant non seulement plusieurs nuisances mais également plusieurs modes de transport. D'autre part, il s'attarde essentiellement sur les recherches menées au niveau européen et suisse ainsi qu'à l'échelle du massif alpin. Il apparaît également important de préciser que, compte tenu de l'étendue de la recherche et des développements existants, ce chapitre repose sur une vaste étude de la littérature et ne se prétend pas exhaustif.

2.1.1. L'évaluation de l'impact sur l'environnement

2.1.1.1. Bref historique et définition

L'évaluation environnementale ou évaluation de l'impact sur l'environnement⁴⁶ est apparue dans les années soixante, au même moment que l'apparition des préoccupations sur le devenir de l'environnement⁴⁷. Intégrés dans les institutions à partir de la fin des années soixante, les

⁴⁵ Les indicateurs de durabilité sont également appelés indicateurs de développement durable.

⁴⁶ Voir notamment : SIMOS 1990 ; ANDRÉ 1999 ; HERTIG 1999

⁴⁷ Les impacts sur les êtres humains et les impacts sur les populations sont incorporés au titre de l'environnement dans les évaluations stratégiques environnementales et les études d'impact sur l'environnement (CEMT 2004).

« nouveaux » rapports entre les humains et l'environnement, sont à l'origine de la définition de la problématique de l'évaluation environnementale.

Depuis 1969, date de l'adoption de la NEPA⁴⁸ aux Etats-Unis, de nombreuses recherches consacrées à la méthodologie des évaluations environnementales sont apparues simultanément. En Europe, ces développements méthodologiques ont été fortement inspirés des travaux de l'« école européenne d'aide à la décision » (ROY 1985).

L'évaluation environnementale peut être désignée comme l'ensemble de la démarche qui consiste à estimer et à prédire les conséquences d'une action. Cette action peut être un projet d'aménagement, une politique (programme de développement, action stratégique) ou encore le choix d'une technologie. Bien que cela varie selon les définitions, les conséquences considérées sont généralement de nature écologique, sociale ou politique.

L'évaluation environnementale a une fonction d'analyse scientifique ainsi qu'une fonction d'aide à la décision. En effet, elle vise non seulement à obtenir des résultats quantitatifs et qualitatifs relatifs aux incidences causées par ces actions mais également à améliorer la qualité de la prise de décision en intégrant la composante environnementale au sein du processus décisionnel et en aidant les décideurs dans la sélection de la meilleure action par une prise en compte explicite et sélective des considérations environnementales.

Favorisant l'intégration des objectifs de protection de l'environnement et du développement durable aux stades de la planification et de la prise de décision, l'évaluation environnementale est désormais considérée comme une nécessité dans le processus de décision (MICHEL 2001).

L'évaluation environnementale se manifeste sous différentes formes⁴⁹ :

- l'étude d'impact (analyse de projet)⁵⁰ ;
- l'évaluation environnementale stratégique (analyse de politique)⁵¹ ;
- l'état de l'environnement (répertoire) ;
- la certification environnementale (analyse du « cycle de vie » d'un produit ou d'un processus) ;
- la vérification environnementale (audit du comportement de l'entrepreneur).

Bien que l'évaluation environnementale soit apparue dès la fin des années soixante, la prise en compte des effets sur l'environnement des projets et politiques de transport est relativement récente.

Compte tenu du fait que la nature, l'échelle et la précision des enjeux à prendre en compte soient différentes ainsi que du fait que ces enjeux s'étendent aux dimensions sociale et économique du développement durable, les méthodes classiques utilisées pour l'évaluation environnementale ont dû être adaptées (MICHEL MONIER 2001).

Dans le domaine des transports, l'évaluation environnementale a pour principal objectif d'estimer et de prédire les conséquences de la construction d'une nouvelle infrastructure de transport. Elle s'intéresse ainsi directement aux impacts induits par la présence d'une infrastructure et indirectement aux nuisances induites par le trafic. Différentes méthodes d'évaluation existent dans ce domaine (LAMURE LAMBERT 1993).

⁴⁸ Le National Environmental Policy Act recommande à chaque organisme fédéral d'avoir une approche interdisciplinaire dans la planification et la prise de décision afin qu'il soit tenu compte des incidences sur l'environnement.

⁴⁹ www.sbf.ulaval.ca/for-19089/automne%202004/

⁵⁰ En Suisse, tout projet ayant des incidences sur l'environnement est, depuis 1975, soumis à une étude d'impact qui vise à examiner si l'installation projetée respecte les dispositions relatives à la protection de l'environnement.

⁵¹ L'évaluation environnementale des plans et programmes a été rendue obligatoire par la directive européenne « relative à l'évaluation des incidences de certains plans et programmes sur l'environnement » du 27 juin 2001. Cette directive a pour objectif de mieux intégrer les considérations environnementales dans le processus décisionnel, en intervenant en amont de la prise de décision et en ayant un champ d'application plus vaste que les études d'impacts. En Suisse, l'évaluation environnementale stratégique ne se pratique pas, pour l'instant, au plan fédéral.

2.1.1.2. Méthodes d'évaluation des impacts

Dès les années soixante-dix, des méthodes d'identification et d'évaluation des impacts sur l'environnement ont été développées. Plusieurs publications en font une revue complète : ANDRE et al. 1999, HYDRO QUEBEC 1990, JULIEN et al. 1992, LELIEVRE et al. 1995, ROE et al. 1996, SADAR 1996, SIMOS 1990, SINHA 1998, SMITH 1993, THOMSON 1990, WRIGHT et al. 1987.

L'importance croissante accordée à la prise en compte des impacts environnementaux, le nombre plus élevé d'effets à considérer ainsi que le développement d'outils d'analyse de plus en plus performants, sont à l'origine d'un renouvellement méthodologique constant. Progressivement les outils font appel à plus de formalisme mathématique et informatique. Les principales méthodes et outils cités dans la littérature sont : les méthodes « ad hoc » et les réunions d'experts, les listes de contrôle (« impact check-list »), les matrices d'impact ou d'interaction⁵², les réseaux et systèmes, les méthodes de superposition (« overlays » / ex. : cartes de contraintes, cartes d'aptitudes)⁵³ et les modèles⁵⁴.

Durant les années soixante-dix et quatre-vingt, de nouvelles démarches itératives permettant d'internaliser les différents impacts apparaissent. Cette nouvelle configuration a impliqué la mise en place d'une approche interdisciplinaire. Ainsi, les méthodes d'évaluation économique et les méthodes d'évaluation multicritère sont des méthodes utilisées récemment dans le domaine des transports.

L'évaluation environnementale consiste souvent à traduire les effets en importance (faible, moyen, fort). Bien que cette traduction des effets varie d'une méthode à l'autre, la logique d'évaluation reste généralement la même (MOLINES 2003). Elle se compose habituellement des étapes suivantes (FECTEAU 1997) : recherche d'indicateurs caractéristiques ; évaluation de l'importance de l'impact ; agrégation des indices accordés à chaque critère ; pondération des critères.

2.1.1.2.1. Méthodes d'évaluation économique

La première véritable rencontre de l'économie et de l'écologie date probablement de 1972, lors de la publication du rapport du Club de Rome intitulé « Halte à la croissance ? Rapport sur les limites de la croissance ». L'économie néo-classique s'intéressant à la recherche d'un optimum est à l'origine de la théorie des effets externes⁵⁵. Cette théorie fait référence à l'optimum de Pareto⁵⁶ qui « *consiste à se trouver dans une situation telle que toute amélioration du bien-être d'un individu (ou d'une catégorie d'individus) ne peut se faire qu'au détriment d'un autre individu (ou d'une autre catégorie d'individus)* » (Wikipédia

⁵² Le modèle (matrice numérique ou dite de Léopold) développé par Leopold (LEOPOLD et al. 1971) est une des premières références en la matière (démarche linéaire ou procédure parallèle qui évalue les impacts environnementaux vers la fin de la démarche).

⁵³ Ian Mc Harg, qui est à l'origine de cette méthode, visait à démontrer qu'il était possible de traduire les lois de la nature en valeurs propres à donner une réponse rationnelle au système de valeurs de la société (MC HARG 1969 ; ANDRE 1999).

⁵⁴ Les modèles permettent notamment de déterminer l'intensité des impacts, leur importance, leur évolution, les interrelations, la dispersion des polluants atmosphériques ou du bruit et de déterminer les immissions. Ex. : modèle Pression - Etat - Réponse, modèle de simulation.

⁵⁵ Un coût externe ou une externalité est un « *coût économique qui n'est pas normalement pris en compte par les marchés ni dans les décisions des agents du marché* ». « *Certaines de ces externalités se présentent sous la forme d'une augmentation des atteintes à l'environnement naturel, telles que les pollutions atmosphérique et acoustique. D'autres prennent des formes différentes, comme les risques accrus d'accidents ou l'accroissement des encombrements* » (OCDE 1998). Parfois on distingue les externalités « négatives » qui ont une répercussion négative par opposition aux externalités « positives ».

⁵⁶ Pareto (Vilfredo Federico Damaso), économiste et sociologue italien (Paris, 1848 – Céligny, Suisse, 1923). Cherchant à faire de l'économie une science objective, il a formulé une théorie de l'« optimum économique », mettant l'accent sur sa relativité dans un système de libre concurrence.

2006). « Un état réalisable est un optimum de Pareto s'il n'existe pas d'état réalisable qui lui soit préféré. Tout équilibre concurrentiel est un optimum de Pareto. Mais dans le domaine des transports il y a présence d'effets externes. On dit qu'il y a effet externe lorsque les actions d'un agent ont une répercussion sur les fonctions objectives d'autres agents sans que cet effet soit l'objet de transaction sur un marché. Ces externalités font que l'équilibre concurrentiel n'est plus un optimum de Pareto et que, dans ce cas, il faut corriger les mécanismes de marché de façon à rétablir l'équivalence de Pareto et l'équilibre concurrentiel décentralisé. L'existence d'externalités génère des conflits entre les intérêts collectifs et les intérêts privés » (ARNAUD 2001).

L'évaluation monétaire, attribuant une valeur monétaire aux différentes composantes environnementales, cherche à évaluer l'écart par rapport à cet « optimum de l'effet externe » (SIMOS 1990) ou « optimum de pollution », notion qui est au cœur de l'économie de l'environnement.

Différentes méthodes d'évaluation monétaire ont été développées en Europe et principalement dans les pays scandinaves. Bien que la monétarisation des effets date des années soixante-dix, son application dans le domaine des transports est relativement récente (LAMBERT LAMURE 1994). Depuis une vingtaine d'année, ces méthodes d'évaluation sont appliquées dans les pays du nord de l'Europe, en Allemagne et en Suisse afin d'évaluer les impacts tels que le bruit et la pollution de l'air induits par les transports.

Il est possible de distinguer trois principales méthodes d'évaluation monétaire:

- la méthode des marchés de substitution : évaluation des dépenses de protection, prix hédonistes (observation des prix d'un marché), coûts de transport ou de déplacement;
- la méthode des marchés artificiels/contingents ou méthode d'évaluation contingente (enquête, questionnaire, traitement statistique) ;
- la méthode indirecte d'évaluation (sans référence au marché / coûts d'évitement, coût des dommages).

La méthode indirecte d'évaluation est souvent utilisée dans le domaine des transports. Elle se subdivise en quatre étapes :

- la caractérisation des polluants en unité physique ;
- l'évaluation des transports et de la transformation physique des polluants ;
- la mesure des impacts physiques sur le milieu récepteur à partir des fonctions de dose-effet ou dose-réponse ;
- l'évaluation des coûts des impacts sur le milieu.

Parmi les méthodes d'évaluation, deux ont été particulièrement développées dans le domaine des nuisances dues au trafic: les prix hédonistes et l'évaluation contingente. Les méthodes de type hédonique, établies sur les pertes de la valeur immobilière induites par l'exposition sonore⁵⁷, sont habituellement utilisées pour estimer l'impact du bruit. L'évaluation de la pollution de l'air recourt quant à elle à des méthodes d'évaluation de type coût des dommages, coûts de protection ou encore disponibilité à payer, résultant d'enquêtes de préférences déclarées.

Le choix de la méthode dépend des objectifs de l'évaluation (Tableau 4).

⁵⁷ Une augmentation d'un dB(A) entraîne une diminution de 1% du prix du logement (QUINET 1998).

	préférences révélées	préférences déclarées
valorisation des préférences individuelles	- dépenses de protection - coût du voyage - méthode des prix hédonistes	- enquête sur la base de marchés fictifs
valorisation de choix collectifs	- évaluation a posteriori	- coût des dommages - coût d'évitement

Tableau 4 : Choix de la méthode d'évaluation économique (NICOLAS 2002)

Une fois la transposition monétaire effectuée au moyen d'une des méthodes citées, il est possible et recommandé par certains auteurs d'évaluer les projets en recourant à une analyse coût-avantage (ACA)⁵⁸ ou à une analyse multicritère (AMC).

L'évaluation monétaire des impacts sur l'environnement, en attribuant une valeur économique aux différentes composantes de l'environnement, permet d'estimer le coût économique que représente l'impact induit par une nuisance telle que la pollution de l'air ou le bruit sur une de ces composantes. L'utilisation d'une même unité de mesure présente l'avantage de pouvoir comparer l'importance des impacts induits par les différentes nuisances mais également de permettre l'intégration des différents impacts environnementaux dans le calcul de rentabilité socio-économique. La Figure 3 présente les résultats d'une étude d'évaluation des coûts externes des différents moyens de transport réalisée par l'INFRAS et l'IWW.

Transport de marchandises 1995 (UE 15 + Suisse + Norvège)

€/ 1 000 t-km

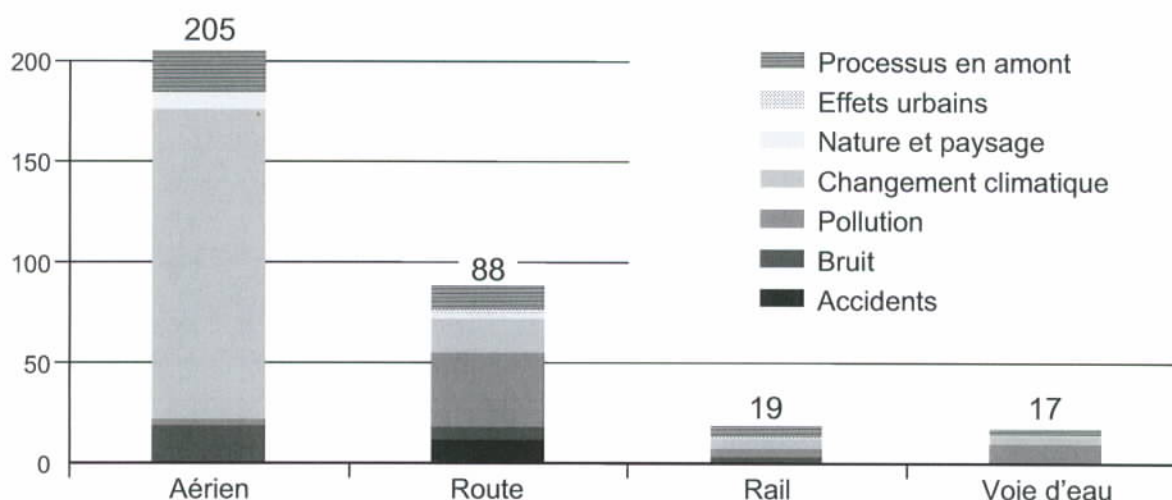


Figure 3 : Les coûts externes des différents moyens de transport (hors congestion) – INFRAS IWW pour l'UIC 2000 (COMMISSION EUROPEENNE 2001)

Cependant, malgré l'intérêt qu'elle présente, l'évaluation monétaire se heurte à des difficultés essentiellement liées à la nature même des impacts environnementaux⁵⁹ et aux méthodes utilisées qui sont parfois à l'origine de divergences dans les évaluations.

⁵⁸ Une ACA est recommandée par les rapports Boiteux. ACA : une décision est justifiée si la somme des bénéfices est supérieure à celle des coûts pour tous les acteurs.

Les difficultés, liées à la nature même des impacts environnementaux, sont dues à leur grande diversité, à la variabilité des horizons d'espace et de temps, ainsi qu'à la diversité des valeurs attachées à l'environnement (RAMBEAUX 1996). Du fait de leur nature, la plupart des conséquences environnementales négatives induites par les transports sont difficilement ou ne peuvent pas être évaluées de manière monétaire étant donné l'absence d'un marché clair concernant ces « coûts » (NIJKAMP 1994 ; MOLINES 2003).

La diversité des méthodes d'évaluation monétaire utilisées, ainsi que la variété de leur domaine d'application sujet à des objectifs divers, sont à l'origine de divergences dans les évaluations et dans les résultats (MOLINES 2003). De ce fait, l'interprétation ainsi que la comparaison des résultats obtenus par les différentes études menées en Europe s'avèrent délicates (RAMBEAUX 1996). C'est notamment le cas de l'évaluation du coût des nuisances générées par les transports, plus particulièrement routiers, qui est à l'origine de nombreux débats liés à la diversité des méthodes existantes et utilisées pour évaluer les coûts et les monétariser.

« Cependant, escompter une amélioration des méthodes pour que les résultats convergent est illusoire du fait tant des contingences temporelles et spatiales des évaluations que des différences de regard que chacune d'elles implique » (NICOLAS 2002).

Au-delà des questions liées à l'évaluation proprement dite et au choix de la méthode, l'évaluation monétaire des impacts peut rencontrer des difficultés lors de son utilisation opérationnelle bien que la plupart des pays européens réserve un accueil favorable à l'intégration économique des coûts environnementaux. L'utilisation opérationnelle de l'évaluation monétaire est tributaire de certaines conditions préalables. Les principales conditions ont été identifiées par une étude menée en Suisse en 1992 à l'initiative du Service d'étude des transports du DETEC. Une forte acceptabilité des méthodes et des résultats par les scientifiques, les opérateurs et les décideurs politiques, ainsi qu'une information intensive du public avant toute mise en place d'une recommandation ou d'un texte réglementaire portant sur ces questions, font partie de ces conditions.

Finalement, comme le soulignent plusieurs auteurs (LAMURE 1991 ; COHEN DE LARA et al. 1997 ; LARRUE 2000), l'évaluation monétaire s'avère très intéressante pour l'évaluation d'éléments économiques mais paraît être peu adaptée à l'évaluation d'un grand nombre de paramètres environnementaux. Cette difficile adéquation est liée tant à des obstacles techniques que conceptuels. Fort de ces considérations, il apparaît intéressant et préférable de recourir à d'autres critères de comparaison afin que la prise de décision soit éclairée par des résultats issus de différentes techniques d'évaluation. La combinaison de l'évaluation monétaire à d'autres mesures s'avère d'autant plus intéressante que la vérité des coûts ne peut garantir à elle seule la réalisation des objectifs environnementaux.

2.1.1.2.2. Méthodes d'évaluation multicritère

Les méthodes d'analyse multicritère ou, plus exactement, les méthodes d'aide multicritère à la décision s'inscrivent dans la suite des techniques d'optimisation ou de recherche opérationnelle dont certaines notions sont d'ailleurs inspirées⁵⁹. Les premières publications dans ce domaine apparaissent vers la fin des années soixante.

Le développement des méthodes d'aide multicritère à la décision avait pour objectif de pallier aux insuffisances de la recherche opérationnelle et du calcul économique classique. La

⁵⁹ Trafic : pollution de l'air, bruit, accident, risque, congestion, épuisement des ressources naturelles, etc. ; Infrastructure : effet de coupure, intrusion visuelle, etc.

⁶⁰ La théorie de l'utilité (XVIII^e siècle) et les travaux de Bernoulli; la théorie des choix collectifs (XVIII^e siècle) et les travaux du Marquis de Condorcet; la théorie de la mesure en analyse psychosensorielle et les travaux de Luce (années cinquante).

solution optimale initialement prévue par la recherche opérationnelle s'avérant impossible à atteindre compte tenu de l'univers complexe⁶¹ dans lequel s'effectue la prise de décision (ROY 1997), les méthodes d'aide à la décision multicritère ont pour objectif de trouver, non pas une solution optimale, mais la ou les solutions les plus adéquates compte tenu d'un ensemble de critères. Ainsi, ces méthodes ont l'avantage de permettre d'évaluer des décisions que l'on ne peut isoler de leur contexte (BEN MENA 2000).

L'évaluation économique des impacts ainsi que leur internalisation prônée par les économistes ne faisant pas l'unanimité (CEMT 2004), ces méthodes présentent également l'avantage de pouvoir intégrer ce qui n'a pas de prix, ni même de cours financier.

Selon Bernard Roy (ROY 1985) l'analyse multicritère ou aide à la décision est « *l'activité de celui qui, prenant appui sur des modèles clairement explicités, mais non nécessairement complètement formalisés, aide à obtenir des éléments de réponse aux questions que se pose un intervenant dans un processus de décision, élément concourant à éclairer la décision et normalement, à prescrire, ou simplement à favoriser, un comportement de nature à accroître la cohérence entre l'évolution du processus d'une part, les objectifs et le système de valeurs au service desquels cet intervenant se trouve placé d'autre part.* »

Le choix d'une méthode, parmi l'ensemble des méthodes d'analyse multicritère, dépend principalement du type de problème à traiter (problématique, nombre d'objets). Parmi ces approches, on distingue les méthodes d'agrégation complète des méthodes d'agrégation partielle. La méthode d'agrégation complète présente des avantages quant à la facilité de sa mise en œuvre et au traitement d'un nombre élevé de variantes. Les méthodes d'agrégation partielle qui ne peuvent prétendre à de tels avantages en présentent d'autres : utilisation de l'unité d'origine (ne nécessite pas de transformation pour obtenir une échelle uniforme) ; utilisation de poids pour l'appréciation de l'importance des critères (on n'est pas dans l'obligation d'avoir un taux de substitution entre les différentes échelles) ; compensation partielle (un critère très mauvais ne peut être compensé par d'autres critères très bons) ; incomparabilité (cf. Tableau 5).

	agrégation complète (somme pondérée, score global)	agrégation partielle (Electre Tri, comparaison par paires)
nombre de variantes /objets	élevé	limité
échelle de travail	pixel ⁶²	plus petite échelle
mise en œuvre	facile	difficile
critères cardinaux	normalisation	tels quels
critères ordinaux	cardinalisation	tels quels
importance des critères	constante d'échelle	poids
compensation	totale	très partielle
incomparabilité	ignorée	intégrée

Tableau 5 : Comparaison des méthodes d'agrégation complète et partielle

Dans tous les cas, le choix d'une méthode oblige à « *mollir sur quelque chose* ». Selon Alain Schärli « *aucune méthode ne respecte la totalité des exigences qu'un utilisateur pourrait trouver « normale » dans l'idée multicritère* » (SCHÄRLI 1985). Précisons toutefois que les

⁶¹ « Cette complexité est inhérente à la subjectivité et à l'irrationalité qui caractérisent les processus décisionnels » (MOLINES 2003).

⁶² « The smallest unit of information in an image or raster map. Usually square or rectangular, pixel is often used synonymously with cell. » GIS dictionary ArcGIS

méthodes d'agrégation complète, privilégiées par l'école américaine (Kuhn, Tucker, Geoffrion, etc.), sont souvent critiquées par les chercheurs de l'école française. Ces derniers privilégient davantage les méthodes d'agrégation partielle considérées comme plus éloignées des méthodes d'optimisation. En effet, la recherche de l'agrégation complète de l'ensemble des critères les réduit d'une manière ou d'une autre à un critère unique. Ainsi, les méthodes d'agrégation complète « *établissent une **fonction-critère** unique, qui est certes le fruit de jugements posés critère par critère, mais qui n'en revient pas moins à une agrégation finale **monocritère*** » (SCHÄRLIG 1985).

L'analyse multicritère suit une démarche structurée qui comprend la structuration du problème, la génération d'alternatives, l'identification de critères d'évaluation ainsi que le choix d'une procédure d'agrégation⁶³. Cette dernière détermine la méthode de pondération.

Alors que dans le domaine des études environnementales, l'intérêt d'une approche multicritère est reconnu compte tenu des nombreux aspects non quantitatifs et non commensurables⁶⁴, ces méthodes sont encore peu utilisées pour les problématiques relatives au domaine des transports (MOLINES 2003). A ce sujet, ce sont essentiellement les problèmes de planification et, dans une moindre mesure d'analyse de tracés qui font l'objet de publications. La littérature semble principalement se limiter aux méthodes procédant par agrégation complète (variantes de la moyenne pondérée). Toutefois, certaines publications font référence à l'utilisation de méthodes plus complexes (BEINAT et al. 1998). Une alternative qui a notamment été explorée est une approche basée sur l'utilisation de la méthode d'analyse multicritère procédant par agrégation partielle. Sans aucun doute, la méthode de l'école américaine la plus couramment utilisée est celle développée par Saaty (AHP – Analytical Hierarchy Process ; SAATY 1990), alors que ELECTRE (MAYSTRE PICTET SIMOS 1994 ; SIMOS 1990) et PROMETHEE (BRANS MARESCHAL 2002) sont les méthodes les plus utilisées par l'école européenne.

De nombreux autres ouvrages et publications relatifs aux méthodes multicritère peuvent être consultés à ce sujet (ex. : VINCKE 1989).

2.1.1.2.3. Analyse multicritère et Système d'Information Géographique

Depuis environ quinze ans, les Systèmes d'Information Géographique (SIG) sont utilisés dans le cadre d'évaluations environnementales qui deviennent de plus en plus complexes. Le SIG présente des fonctions d'abstraction, d'acquisition, d'archivage, d'analyse et d'affichage de données géoréférencées. Ainsi, il facilite la gestion des données spatiales (LAARIBI 2000 ; LAURINI et al. 1993), présente des capacités analytiques pouvant aider à résoudre des problèmes liés à la décision (THERIAULT 1995) et permet une représentation cartographique des résultats obtenus⁶⁵. Conçus à l'origine pour traiter des données géoréférencées, ces outils apparaissent comme un complément aux méthodes multicritères qui sont utilisées pour l'évaluation des impacts et le choix d'une solution adéquate parmi des variantes. L'association des méthodes d'analyse multicritère et des SIG est un domaine de recherche récent qui se développe et encore peu de publication y font référence. Ces dernières traitent essentiellement leur utilisation pour la recherche de sites (JOERIN 1995) ou de solutions consensuelles (MOLINES 2003). L'objectif de cette association est de faire évoluer les SIG vers de véritables systèmes d'aide à la décision (LAARIBI 2000) et à élargir la capacité des méthodes d'analyse multicritère tout en acquérant la transparence qui leur fait défaut (MOLINES 2003). Les acronymes SIAD (Système Intégré d'Aide à la Décision) et GDSS

⁶³ L'application d'une règle d'agrégation multicritère n'est pas généralisée (SAYERS et al. 2003).

⁶⁴ Ce sont principalement les méthodes par agrégation partielle qui sont utilisées.

⁶⁵ « L'apport de la représentation cartographique pour la compréhension des phénomènes spatiaux a depuis longtemps été démontré (BERTIN 1967) » (MOLINES 2003).

(Group Decision Support System) désignent les systèmes regroupant un SIG et une méthode d'analyse multicritère (MOLINES 2003 selon COTE et al. 2001 ; MORIN 1998 ; WOTTO et al. 2003).

2.1.2. L'évaluation des impacts des transports

2.1.2.1. Les recherches internationales

Au niveau international et selon la littérature, davantage de méthodologies ont été développées afin d'estimer les impacts économiques des transports plutôt que de déterminer les impacts induits par les transports. Ainsi, les méthodes développées se focalisent principalement sur la dimension économique et non sur la dimension spatiale ou sur la localisation des impacts. C'est ce que confirme notamment la publication de Van Wee, Janse et Van den Brink (VAN WEE, JANSE, VAN DEN BRINK 2005). Cette dernière fait un état des lieux, au niveau international, des méthodes utilisées pour comparer les performances environnementales et énergétiques des modes de transport terrestre. Généralement, les méthodes développées présentent trois étapes distinctes : estimation des facteurs moyens de consommation énergétique et d'émission par unité de transport ; estimation des changements de volumes de transport ; multiplication des volumes de transport avec les facteurs d'énergie et d'émission. Selon les auteurs de cette publication, seules quelques recherches tiennent compte de l'impact de l'emplacement des émissions lors de l'évaluation des effets induits par les transports (DORLAND JANSEN 1997 ; EYRE et al. 1997 ; NEWTON 1997).

En collaboration avec l'US Department of Energy, la Commission Européenne s'est engagée dès le début des années quatre-vingt-dix dans le projet ExternE (BICKEL et al. 1998). Ce projet, basé sur une approche ascendante⁶⁶, vise à quantifier les effets externes induits par l'énergie consommée par des activités telles que les transports. Les impacts et les coûts résultant des activités de transport routier, ferroviaire et fluvial (marchandises et voyageurs) sont estimés à l'aide d'une approche des impacts par corridors⁶⁷. Dans le cadre de ce projet, les émissions ainsi que leur dispersion sont modélisées, les impacts physiques sont estimés à l'aide de fonctions exposition (dose)-réponse et les impacts sont finalement estimés en unités monétaires. Concernant les transports, cette recherche se focalise sur les impacts induits par les polluants atmosphériques et les gaz à effet de serre. Tenant compte de la dispersion des polluants ainsi que de la localisation de la population, ce projet intègre la dimension spatiale souvent absente des recherches menées à cette échelle.

Au niveau européen, la Commission Européenne est à l'origine de nombreux projets de recherche. Alors que certains de ces projets sont spécifiques à un mode de transport ou à une nuisance (REALISE, MEET, COPERT), d'autres présentent des champs d'étude plus vastes. Ainsi, durant les années 1996-1999, le projet COMMUTE (Common Methodology for Multi-Modal Transport Environmental) est mené : L'objectif principal est d'établir une méthodologie commune ainsi qu'un modèle informatique permettant d'évaluer les impacts sur l'environnement et la sécurité du réseau de transport européen (TEN-T). Cette recherche considère les transports routier, ferroviaire, fluvial et aérien ainsi que des activités de transport multimodales. L'outil développé à partir d'un SIG permet d'estimer les émissions de polluant atmosphérique, la consommation énergétique, le bruit ainsi que les problèmes de sécurité. Une coopération étroite avec d'autres projets européens tels que les projets SCENARIOS, STREAM ou encore MEET ont aidé au développement de ce logiciel. Par le biais du

⁶⁶ Traduction de l'anglais « bottom up approach »

⁶⁷ Traduction de l'anglais « impact pathway approach »

développement d'un outil orienté réseau ainsi que par le lien entre la localisation de la population et les impacts, la dimension spatiale est présente dans ces évaluations. Toutefois, ce projet ne se focalise pas sur cette dimension compte tenu du fait qu'il ne tient pas compte de la dispersion des nuisances. A partir des données obtenues, une analyse coût-bénéfice et une analyse multicritère permettent d'obtenir des indicateurs globaux.

A l'initiative de la Commission Européenne, le projet européen Recordit (SCHMID et al. 2001), mené de 2000 à 2001, est destiné au développement d'une méthodologie permettant de calculer les coûts réels (internes et externes) du transport routier et intermodal de marchandises et d'appliquer cette méthodologie à trois principaux corridors européens⁶⁸. Il vise à identifier et à analyser les options techniques et organisationnelles permettant de réduire ces coûts. Les coûts marginaux dus à la pollution de l'air et au bruit sont calculés selon l'approche ascendante des impacts par corridors, développée dans le projet ExternE. Dans le cadre de ce projet, les émissions, ainsi que les concentrations, sont calculées pour chaque corridor afin d'attribuer une valeur monétaire aux impacts externes considérés (pollution de l'air, bruit, congestion, accidents (LINDBERG 1999)). La méthode choisie se focalise sur l'évaluation des différents types de coûts (coûts marginaux) et non sur la localisation des impacts.

L'INFRAS et l'IWW ont également mené en 2000 un projet à l'échelle européenne afin d'évaluer les coûts externes induits par les transports dans 17 pays européens (Union Européenne, Suisse, Norvège). Réalisée sur la base des données de 1995, cette étude a été actualisée en 2004 (INFRAS IWW 2004a). Elle fait référence aux travaux récents sur les coûts externes tels que le projet ExternE.

2.1.2.2. Les recherches alpines

Au niveau européen, la spécificité des Alpes face aux impacts induits par les transports a été reconnue. L'étude de la propagation des polluants dans l'espace alpin ainsi que leur impact sur les vallées alpines ont été au cœur de plusieurs travaux de recherche internationaux.

Parmi ces recherches (ex. : EEA 2001a ; MORCHEOINE 2001), l'étude scientifique menée par le bureau d'étude Ökoscience Lufthygiene AG à la demande des pouvoirs publics suisses et lancée en 1997 a eu un retentissement important au niveau européen (ÖKOSCIENCE 2000). Cette étude, qui avait pour objectif de montrer que les vallées alpines sont plus vulnérables que le plateau suisse, révèle que, du fait des différences de conditions atmosphériques entre la montagne et la plaine, les charges polluantes provenant des gaz d'échappement d'un même véhicule sont trois fois plus importantes le long de l'axe du Gothard que sur le Plateau suisse.

Concernant uniquement la pollution de l'air, une étude trinationale relative aux différentes sources de PM₁₀ a été menée entre l'Autriche, la France et la Suisse⁶⁹ en collaboration avec l'OMS (WHO 1999) en vue de la 3^{ème} Conférence ministérielle sur l'environnement et la santé (Londres 1999)⁷⁰. Dans ce cadre, les coûts de la santé, dus à la pollution atmosphérique provoquée par le trafic routier, ont fait l'objet d'une évaluation. L'objectif était de développer un cadre méthodologique commun permettant d'obtenir des résultats qui puissent être comparés. Ce projet englobe les aspects relatifs à l'hygiène de l'air, à l'épidémiologie ainsi qu'à l'économie.

⁶⁸ Genova-Manchester; Patras-Gothenburg and Barcelona-Warsaw

⁶⁹ Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie (Autriche), Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie ADEME (France), Département de l'Environnement, des Transports, de l'Energie et de la Communication (Suisse).

⁷⁰ DETEC (Secrétariat général), 2000, Coûts de la santé dus à la pollution atmosphérique provoquée par le trafic routier (1996), SET-NEWS n° 52, Service d'étude des transports, Berne, 27.03.00, 4 p.

Concernant la recherche en transport à l'échelle alpine, il est encore nécessaire de citer le projet thématique ALPNET « Thematic Network on Trans-Alpine Crossing ». Ce projet européen, mené de 2001 à 2003, visait à créer un réseau d'experts afin de délibérer sur les thématiques actuelles et d'élaborer un inventaire des recherches menées au niveau national et européen concernant les données, les méthodes, les modèles (SIG), les politiques, l'aide à la décision, l'intermodalité et le transport combiné, la tarification et le financement.

2.1.2.3. Les recherches nationales

Concernant les impacts induits par le trafic routier et ferroviaire, de nombreuses recherches sont menées au niveau national. Afin de pouvoir comparer les résultats obtenus, il devient essentiel d'harmoniser les méthodes utilisées. C'est notamment ce que souhaite l'Agence européenne de l'environnement. Pour ne citer qu'un exemple, une recherche (NIJLAND VAN WEE 2005) consacrée à la comparaison des méthodes de calcul du bruit causé par le trafic routier et ferroviaire, montre que des différences d'environ 15 dB (A) (qui ne peuvent être expliquées par des compositions différentes de la flotte ou encore du style de conduite) proviennent d'artefacts méthodologiques du fait de l'utilisation de méthodes nationales différentes.

Les recherches menées en Suisse sont particulièrement nombreuses dans le domaine du transport et de ses impacts. Les thématiques de recherche (2004-2007) « *Transports et durabilité* », « *Développement durable du territoire et mobilité* » et « *Umwelt* » s'intéressent au développement durable du territoire, à l'utilisation de moyens de transport durables ainsi qu'à la protection de l'environnement (climat, population, etc.).

Dans le cadre du projet « Suivi des Mesures d'Accompagnement – Environnement » (OFEFP 2002c), la Suisse évalue l'impact de l'accord sur les transports terrestres conclu avec l'Union Européenne qui prévoit une surveillance continue de l'évolution du trafic marchandises à travers les Alpes et de ses effets sur la qualité de l'air, sur l'exposition au bruit, sur la nature et le paysage ainsi que sur la santé de la population. Il vise également à évaluer l'impact des mesures d'accompagnement sur l'environnement. Ce projet, mené sous la direction de l'Office Fédéral de l'Environnement (OFEV⁷¹) et en collaboration avec les cantons, recueille des données concernant la qualité de l'air et le bruit le long des routes nationales A2 et A13 ainsi que le long des axes ferroviaires Bâle-Berne-Lötschberg et Bâle-Gothard (7 stations de mesure). Ces informations sont utilisées pour des modélisations mathématiques destinées à évaluer les effets sur les régions longeant les axes nord-sud. Les résultats des mesures permettent de contrôler les modèles. Grâce aux modélisations mathématiques, on peut aussi distinguer les émissions des axes de transit de celles des autres sources d'émission.

En 2001, dans le cadre du programme de monitoring des mesures d'accompagnement dans le domaine environnemental (SMA-E), une recherche (Umleitung Gotthard 2001) a été menée suite à l'accident survenu dans le tunnel routier du Gotthard qui a entraîné la fermeture de l'autoroute A2 durant deux mois. Durant cette fermeture, le trafic des camions sur l'A13 les jours ouvrables a plus que quintuplé. Cette étude montre que la déviation de la circulation a eu un impact significatif sur les niveaux de pollution et de bruit le long de ces deux axes de transit. L'évolution des émissions dues au trafic recoupe en grande partie l'évolution du nombre de véhicules lourds utilitaires empruntant ces axes. Concernant la pollution de l'air, cette étude révèle que la baisse ou la hausse prévisible avec 1000 poids lourds supplémentaires est de 7 µg/m³ pour le NO₂ et de 2 µg/m³ pour les PM₁₀. Les hausses ou les baisses effectives dépendent de l'emplacement, mais aussi de l'époque de l'année. Concernant

⁷¹ Anciennement OFEFP (Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage)

les modifications des immissions sonores, cette étude conclut que le trafic poids lourds, avec sa proportion élevée de basses fréquences, se distingue nettement du trafic automobile léger. Les immissions mesurées dans le cadre de ces modifications temporaires des émissions sont explicables par les conditions atmosphériques locales (inversions thermiques et vents) telles qu'on les connaît, ainsi que par le volume de trafic. Finalement, l'observation de ces modifications d'émissions le long de ces deux axes de transit permet d'évaluer la contribution du trafic de transit sur la qualité de l'air et du bruit. Cette étude permet également de conclure que les immissions le long de l'A2 et de l'A13 sont fortement influencées par le trafic lourd. D'autres recherches ont été consacrées aux impacts directs ou indirects induits par le trafic. Une étude relative aux relations entre la pollution de l'air et les maladies respiratoires (OFS 1999) révèle, comme d'autres études internationales, que la teneur en poussières fines respirables soit en PM_{10} est le meilleur indicateur en ce qui concerne la pollution de l'air et des maladies qui en découlent. Pour conclure sur les recherches menées en Suisse, précisons encore que d'une manière générale, les recherches se sont principalement focalisées sur la pollution de l'air, le bruit, les accidents ou encore la dégradation des bâtiments et dans une moindre mesure sur les conséquences du trafic sur la biodiversité (UVEK 1998).

Les recherches menées en France sont également nombreuses. Plusieurs études ont été menées dans le cadre du programme Ecosystème-Transports-Pollutions dont l'objectif est d'étudier l'incidence de la pollution des transports routiers sur les écosystèmes des vallées de montagne/vallées de transit. Dans ce cadre, la thèse de Gaëlle Delétraz (DELETRAZ 2002) a pour objectif d'évaluer l'incidence de la pollution azotée des transports sur les écosystèmes de montagne en intégrant notamment la dimension spatiale et la topographie. La capacité de dispersion des sites influençant les niveaux de pollution au même titre que la quantité de véhicule qui y passe, un indice statistique de « disposition à disperser », basé sur le rapport entre les concentrations observées et les émissions théoriques du trafic, est présenté. Dans un deuxième temps, cette recherche se focalise sur la quantification/spatialisation de la pollution et des risques (création de l'information géographique relative aux deux termes qui déterminent le risque : l'aléa (la pollution) et la vulnérabilité (la sensibilité des écosystèmes face à cette menace – charges critiques)). Ainsi, selon cette thèse, c'est à travers la mise en relation spatiale des niveaux de pollution avec la connaissance des milieux naturels que les zones à risques peuvent être localisées. De plus, elle démontre que les volumes de trafic ne sauraient suffire à comparer les sites entre eux, et encore moins à estimer un risque, la variable spatiale montrant toute son influence et sa dimension explicative.

Une autre thèse réalisée récemment présente également un lien direct avec la présente recherche. En effet, la thèse de Nathalie Molines (MOLINES 2003) se consacre à la recherche de couloirs de moindre contrainte environnementale dans le cadre de projets de construction de nouvelles infrastructures routières. Cette procédure, qui reste encore au stade de recherche méthodologique, vise à fournir des éléments permettant de définir les options de passage qui intègrent au mieux l'ensemble des contraintes environnementales.

Toujours dans ce domaine, une méthodologie d'étude environnementale multicritère a été développée par le département Environnement de SCETAUROUTE afin de tenir compte de l'environnement dans les projets d'infrastructure (BARRUE et al. 2002). Cette méthode s'appuie sur les fondements suivants : listage complet des constituants de l'environnement ; mise au point, au sein de chaque thématique, d'une matrice de pondération des constituants de l'environnement ; explication claire des échelles de valeur (contrainte forte, moyenne, etc.) ; notion d'équité entre les différents thèmes environnementaux (dialogue avec les différents acteurs). La carte des sensibilités obtenue constitue le reflet de l'appréciation que les experts et les parties intéressées donnent collectivement à chaque paramètre environnemental. La

synthèse multicritère des sensibilités résulte du cumul des sensibilités territoriales tous thèmes confondus.

En Belgique, une étude menée dans le cadre du programme belge « mobilité durable » est consacrée à l'évaluation des coûts externes induits par le transport de marchandises (pollution, congestion, accidents, bruit, endommagement des routes) et imposés à la population (BEUTHE et al. 2002). A l'aide d'une modélisation sur un Système d'Information Géographique du réseau multimodal de transport de marchandises belge, cette recherche se focalise sur une politique de transport intégrant les coûts externes afin de substituer les modes de transport les plus polluants par des modes plus respectueux de l'environnement.

Dans cette étude, la méthodologie du réseau virtuel NODUS a été appliquée (JOURQUIN 1995). Chaque flux est ainsi assigné au mode de transport et à l'itinéraire le moins « coûteux » et permet une analyse détaillée et une simulation des choix modaux et des solutions intermodales. Le calcul des émissions routières est basé sur le travail de Hickman (HICKMAN 1997) mené dans le cadre du programme COST 319 (EUROPEAN COMMISSION 1999). Les émissions ferroviaires reposent quant à elles sur les travaux publiés dans le rapport RIMV (RIMV 1998) pour les trains électriques et sur la publication de Jorgensen et Sorenson (JORGENSEN SORENSON 1997) pour les trains diesels. La méthodologie, qui tient compte des effets sur la santé de la concentration de divers polluants, est inspirée de Mayeres et al. (MAYERES ET AL. 1996), Small et Kazimi (SMALL KAZIMI 1995) et du rapport ExternE (EUROPEAN COMMISSION 1997).

La simulation menée dans le cadre de cette étude montre qu'une substitution du transport ferroviaire et du transport par voies navigables intérieures au transport routier contribuent à *« une réduction de 15,4% de la pollution, de 44% de la congestion des routes en heures de pointe, de 24% des coûts d'accidents et de 27% des dommages causés aux routes »* soit à une diminution de 600 millions d'euros.

En Grèce, une étude consacrée à l'évaluation des initiatives de transport sur les différentes régions géographiques et les différentes périodes, avec une orientation spécifique sur les impacts environnementaux, est menée et appliquée (TSAMBOULAS MIKROUDIS 2000). Cette recherche, qui aborde les impacts spatiaux et temporels des réseaux de transport pour tous les modes, combine l'analyse multicritère avec l'analyse coût-bénéfice ainsi que l'utilisation d'un Système d'Information Géographique. Le cadre méthodologique générique EFECT (Evaluation Framework of Environmental impacts and Costs of Transport), basé sur une approche réseau, tient compte de la variation spatiale des impacts. Des poids régionaux sont définis (méthode Dephi) afin d'incorporer l'importance relative des différentes régions traversées et affectées par l'infrastructure de transport dans l'évaluation.

« The capability of EFECT to look into different geographical areas with a different perspective and examine different time-horizons has been proven an additional advantage in the evaluation of transport projects, and especially from the environmental point of view » (TSAMBOULAS MIKROUDIS 2000).

2.1.2.4. Synthèse

L'état de la recherche concernant l'évaluation des impacts des transports sur l'environnement montre que de nombreuses études ont été et sont consacrées à l'évaluation des impacts induits par la conception de nouvelles infrastructures de transport. Malgré l'objectif du développement du transport intermodal qui vise une utilisation plus rationnelle et efficace des infrastructures existantes, peu de recherches se focalisent sur l'impact du volume de trafic uniquement.

De plus, la majorité des recherches dans ce domaine se focalisent souvent sur un seul impact. Concernant l'évaluation du bruit, aucun modèle ne semble combiner les différentes sources de bruit comme le rail et la route.

La dimension spatiale tend à être prise en compte récemment dans l'évaluation des impacts induits par les transports et ceci au moyen de différentes méthodes (approche réseau, approche spatiale).

Cette synthèse montre également que l'évaluation des différents impacts repose souvent sur une évaluation monétaire bien que d'autres méthodes tendent à apparaître.

Finalement, cet état de la recherche révèle qu'il est essentiel de mener des études à une échelle internationale, tenant compte de l'influence des volumes de trafic assurés par les différents modes de transport, des différents impacts induits au moyen d'une analyse multicritère ainsi que de la dimension spatiale, dimension qui est progressivement intégrée à ces évaluations et qui apparaît comme primordiale dans le cadre d'une évaluation des impacts notamment dans des espaces hétérogènes tels que les zones montagneuses.

2.1.3. Les systèmes d'indicateurs de développement durable

Il existe une variété de définition pour désigner le développement durable et pour définir un bon indicateur. Plusieurs cadres conceptuels, permettant de définir un système d'indicateurs pertinents pour évaluer la durabilité d'une action au sens large, existent aussi. Toutefois, la réflexion récente sur les indicateurs de développement durable fait qu'il n'existe pas encore à ce jour de méthode ou de canevas universellement reconnu (DEPREZ BOURCIER 2002).

La seconde partie de ce chapitre, consacré à l'état de la recherche, esquisse l'intérêt des indicateurs pour mesurer la durabilité ainsi que les cadres conceptuels utilisés actuellement. Les recherches consacrées à l'évaluation de la durabilité dans le domaine des transports au niveau international, alpin puis national sont ensuite présentées.

2.1.3.1. De l'utilité des indicateurs

La mesure est indispensable pour cerner les objectifs et les cibles de développement durable ainsi que pour évaluer les progrès réalisés afin de les atteindre. Elle permet également de fonder les actions à venir. Selon Hardi et Barg, « *la mesure est particulièrement utile pour les décideurs parce qu'elle les aide : à comprendre la signification du développement durable sur le plan opérationnel (outils explicatifs) ; à opter pour des politiques qui abondent dans le sens du développement durable (outils de planification) ; à jauger le succès des efforts déployés en ce qui a trait à l'atteinte des buts et des objectifs de développement durable (outils d'évaluation du rendement)* ». « *La mesure constitue un fondement empirique et quantitatif pour évaluer le rendement et établir des comparaisons dans le temps et l'espace, et elle permet de dégager des corrélations nouvelles* » (HARDI BARG 1997).

Compte tenu de la variété de définition et d'interprétation de la notion de développement durable et de l'absence de définitions considérées comme acceptables à l'échelle internationale, il est très difficile de s'entendre sur ce qui doit être mesuré.

Afin de pouvoir comparer les situations passées, actuelles et futures ainsi que des situations observables dans différentes zones géographiques, des méthodes sont mises à disposition des décideurs. Parmi ces méthodes, les indicateurs sont indispensables.

Le terme « indicateur » est d'origine latine puisqu'il vient du verbe *indicare* qui signifie « *révéler ou montrer, annoncer ou dénoncer publiquement, ou estimer ou attribuer une valeur* » (ADRIAANSE 1993 ; HAMMOND et al 1994). Les indicateurs, qui peuvent être une variable quantitative ou qualitative ou encore une fonction de variables, servent à simplifier l'information sur des phénomènes complexes tel que le développement durable.

Cette simplification permet non seulement la quantification mais également la facilitation de la communication. En fait, les indicateurs sont le produit d'un compromis entre l'exactitude scientifique et les besoins du processus décisionnel ou la nécessité d'agir rapidement. Ce sont des outils indispensables à la prise de décisions afin de comprendre et de contrôler les tendances et l'efficacité des politiques.

2.1.3.2. Les cadres conceptuels

Comme cela a été dit précédemment, la mesure de la durabilité ou du développement durable n'est pas normalisée à ce jour et il n'existe pas de véritable consensus ni de méthode formellement établis et universellement reconnus. Toutefois, les 10 principes de Bellagio, publiés en 1996 par la Fondation Rockefeller⁷², sont une référence. Les indicateurs de développement durable doivent ainsi s'inscrire dans (MADEC 2003) :

- « des objectifs et une vision partagés du développement durable ;
- une perspective holiste ;
- les dimensions essentielles du développement durable ;
- un champ d'analyse adéquat ;
- un caractère pragmatique ;
- une transparence dans l'élaboration ;
- une clarté dans la communication ;
- un processus participatif ;
- une flexibilité dans la révision ;
- une reconnaissance institutionnelle ».

Il est évident que toute évaluation dans ce domaine doit débiter par la définition et l'interprétation de la notion de développement durable avec des objectifs précis. Toutefois, « en l'absence de connaissances absolues, les décisions sur les aspects à mesurer doivent donc être fondées sur des jugements de ce qui est important. Ces jugements varient selon la situation et parce que les personnes qui les prennent choisissent des définitions différentes du développement durable » (HARDI BARG 1997).

De plus, afin d'intégrer la durabilité comme « une norme à laquelle on peut se référer pour juger de la qualité d'un développement » (ZUINDEAU 2000), il est essentiel de dépasser les indicateurs d'état tels que les indicateurs environnementaux (SG DFTCE 1997).

Afin de concrétiser la notion de développement durable, Industrie Canada (HARDI BARG 1997) recommande tout d'abord de comprendre et de disposer d'information étendue au sujet des procédés humains ou naturels qui sont à l'origine des problèmes environnementaux, financiers ou sociaux. Parallèlement, des solutions doivent être envisagées pour atténuer ou éliminer les problèmes identifiés et ainsi améliorer la situation. Trois questions principales devraient être abordées dans la démarche d'évaluation, à savoir : « les activités qui sont à l'origine de problèmes, les changements entraînés, les mesures prises en conséquence ».

Dans le domaine des transports, de la même manière que les définitions et les interprétations, les approches actuelles se concentrent sur « comment arriver à un système de transport durable » (AKINYEMI ZUIDGEEST 1998). Deen (DEEN 1995) distingue trois principales catégories d'approche dans ce domaine : l'approche ad hoc ou approche qui convient au sujet⁷³, l'approche comptabilité⁷⁴ et l'approche scénario⁷⁵. Le choix de l'une ou l'autre dépend des fins visées.

⁷² <http://www.rockfound.org/>

⁷³ Discussion et analyse des impacts environnementaux des systèmes de transport en vue de les prévoir et de les gérer.

⁷⁴ Identification de limites souhaitables pour les impacts des transports en vue de l'établissement de normes.

Quant à la structure d'un système d'indicateurs, elle peut parfois simplement découler d'un ensemble d'objectifs ou de préoccupations politiques. Dans ce cas, les objectifs sont définis à partir d'une définition du transport durable ou des trois dimensions du concept de développement durable soit : l'environnement, le social et l'économie (EUROPEAN COMMISSION 2003).

Des cadres conceptuels plus complexes ont également été développés pour pouvoir cerner et organiser les différents éléments qui devraient être mesurés au moyen d'indicateurs. Bien que l'état actuel des connaissances soit dépassé par la complexité du monde réel, ces cadres (modélisant la réalité) permettent de faciliter l'acquisition de connaissances et la sélection d'indicateurs reflétant non seulement les priorités actuelles mais également les priorités qui pourraient s'avérer importantes à l'avenir.

Six principaux cadres conceptuels permettant de développer des indicateurs sont identifiés par Maclaren (MACLAREN 1996 ; DE VILLERS RENIERS 2000) et cités par POSSUM: le cadre basé sur les différentes sphères ; basé sur les objectifs ; sectoriel ; basé sur les enjeux ; de causalité et la combinaison de différents cadres.

Dans la littérature, ce sont essentiellement les modèles à trois composantes ou thématiques qui dominent tels que le modèle pression-état-réponse de l'OCDE (Organisation de Coopération et de Développement Economiques), le modèle force-pression-état-réponse avancé par la Commission du Développement Durable des Nations Unies (CDDNU) ainsi que le modèle de la santé humaine et de l'écosystème conjoint.

De nombreux projets présentent également des listes de critères de sélection des indicateurs de développement durable (BCRTEE 1993 ; GOSSELIN et al. 1991 ; LGMB 1995 ; MACNEILL et RUNNALLS 1993 ; SUSTAINABLE SEATTLE 1993 selon (HARDI BARG 1997)).

Le développement d'un système d'indicateurs nécessite la création de liens entre différentes disciplines ce qui n'est parfois pas facile. Cette difficulté conceptuelle est soulevée par Hardi et Barg (HARDI BARG 1997). Ces auteurs mentionnent les difficultés méthodologiques qui sont liées à la disponibilité des données, aux techniques d'analyse, à la compatibilité des données et aux limites attribuables aux différentes ressources. A ces difficultés s'ajoutent la question de l'agrégation des données ainsi que la création d'indices.

La diversité des systèmes d'indicateurs développés n'est pas surprenante compte tenu des différentes définitions existantes, des différentes possibilités d'approches du concept, des différents objectifs définis ou encore des différences d'échelle. Selon Hardi et Barg (HARDI BARG 1997), les variances et incohérences relatives aux éléments inclus dans chaque domaine sont nombreuses.

2.1.3.3. Intérêt de l'analyse spatiale

L'analyse spatiale de données géographiques s'avère intéressante pour la création d'indicateurs de développement durable. Deprez (DEPREZ BOURCIER 2002) cite un certain nombre d'arguments en faveur d'un recours croissant aux Systèmes d'Information Géographique :

- la possibilité de décloisonner les études thématiques traditionnelles au profit d'une analyse multicritère (considération de façon simultanée, et non plus isolée, les différentes informations disponibles) ;

⁷⁵ Définition de critères de durabilité, établissement de scénario en fonction de la demande future, stipulation d'un système de transport qui répond aux exigences de durabilité ainsi qu'à la demande future.

- leur niveau d'intervention (restitution des éléments d'information à l'échelle d'analyse la plus pertinente pour le problème considéré) ;
- retenir l'espace comme support d'étude *« permet de rapprocher des phénomènes complexes et le plus souvent abstraits d'une réalité forte, celle du terrain, facilitant ainsi leur appropriation par la société lorsqu'une approche monétarisée établie sur les coûts économiques des pollutions et des nuisances par exemple ne prend vraiment sens que pour un public initié »* ;
- leur finalité et leur caractère opérationnel.

Le recours à ces outils peut intervenir au niveau :

- de la création des indicateurs ;
- de l'étude des nuisances telles que les émissions sonores et polluantes ;
- de la modélisation de leur diffusion ;
- de la combinaison de ces informations au niveau d'une même grille d'analyse spatiale ;
- de l'évaluation chiffrée des récepteurs exposés à ces nuisances.

Les Systèmes d'Information Géographique qui facilitent l'analyse spatiale de données géographiques très variées permettent d'intégrer la dimension spatiale, dimension qui s'avère désormais comme essentielle et qui n'est pas toujours prise en compte par les approches traditionnelles. Theys (THEYS 2002) souligne l'importance de cette dimension : *« L'introduction d'une dimension spatiale essentielle qui n'apparaît pas dans les approches traditionnelles »*. *« Caractère extrêmement réducteur, pour ne pas dire artificiel, des diagnostics sur les problèmes qui reposent sur des moyennes nationales – ou à fortiori internationales – en négligeant l'énorme différenciation des situations locales »*.

2.1.4. L'évaluation de la durabilité des transports

2.1.4.1. Les recherches internationales

L'avènement du concept de développement durable a créé de nouveaux besoins de recherche au niveau international. Il existe déjà un grand nombre de publications qui évaluent diverses propositions en matière d'indicateurs dont Birkmann (BIRKMANN et al. 1999) qui donne une bonne vue d'ensemble (OFROU 2003a). Initialement, les recherches se focalisaient sur certains impacts induits par les transports sur l'environnement puis, progressivement, le domaine d'étude a été élargi comprenant des impacts tant économiques que sociaux et environnementaux.

Au niveau international, l'OCDE a vivement participé à la définition du concept de développement durable ainsi qu'à la proposition d'indicateurs de durabilité notamment dans le domaine des transports. L'OCDE, qui s'inspire du modèle pression-état-réponse, reconnaît qu'il n'y a pas de système d'indicateurs universel mais qu'il en existe plusieurs, compte tenu des objectifs variés auxquels ils peuvent s'appliquer.

En 1990, l'OCDE a organisé un séminaire intitulé « Indicateurs pour l'intégration des préoccupations environnementales dans les politiques de transport » afin d'établir une liste initiale d'indicateurs relatifs au transport et à l'environnement. Trente-deux indicateurs ont été proposés⁷⁶. Suite à cet événement, une publication est publiée en 1993 et réactualisée en 1998.

⁷⁶ Comme dans d'autres projets, un indicateur relatif aux émissions atmosphériques de polluants par les transports est comptabilisé comme un seul indicateur.

En 1996, l'OCDE voulait avec son projet « Transports Ecologiquement Viables » (OCDE 1996 ; OCDE 2000) définir et fixer les objectifs des transports « écologiquement viables ». Six critères permettant d'évaluer l'évolution des systèmes de transports vers une plus grande viabilité écologique et une meilleure protection de la santé humaine ont été retenus. Ces critères, relatifs à l'occupation du sol, au bruit, aux émissions de dioxyde de carbone, d'oxydes d'azote, de composés organiques volatiles et de particules⁷⁷, sont évalués pour différents scénarios à l'horizon 2030.

La Commission du Développement Durable des Nations Unies a également entrepris des recherches et défini un ensemble de cent trente indicateurs dont certains concernent les transports (UNITED NATIONS 1996).

Parmi l'ensemble des projets menés à l'échelle internationale afin de définir des sets préliminaires d'indicateurs, certains atteignent un stade plus ou moins opérationnel, c'est-à-dire de qualification partielle des indicateurs qu'ils ont sélectionnés (EUROPEAN COMMISSION 2003). Ainsi, comme celui proposé par l'OCDE, le set d'indicateurs de l'Agence de Protection de l'Environnement (EPA 1996) a atteint un stade qu'il est possible de qualifier d'opérationnel. Une centaine d'indicateurs d'activité et d'indicateurs d'« output » ont été déterminés⁷⁸.

Après une présentation très succincte de quelques projets menés au niveau mondial, cet état de la recherche se focalise principalement sur les recherches menées au sein de l'Union Européenne.

En Europe, la plupart des recherches menées dans le domaine des transports ont été réalisées dans le cadre des différents programmes cadre de la Commission Européenne (EUROPEAN COMMISSION 2003, JANIC 2006).

Ainsi, le quatrième programme cadre (1994-1998), consacré à un état de l'art de la recherche concernant les différents aspects relatifs au transport durable, est à l'origine de projets relatifs aux aspects politiques, économiques, environnementaux et sociaux de la mobilité durable. Dans ce cadre, le projet SAMI⁷⁹ (1997-2000) avait notamment pour objectif de développer des méthodes et outils pour aider les acteurs (politiciens, planificateurs, autres) à prendre des décisions lors de problèmes stratégiques de transport.

Le cinquième programme cadre (1998-2002), quant à lui, se concentre sur la « croissance compétitive et durable » dont une action clé est dédiée à la mobilité durable et à l'intermodalité. Dans ce contexte, la Commission Européenne lance le réseau thématique STELLA⁸⁰ afin de renforcer la coopération américano-européenne dans le domaine du transport durable (BUTTON NIJKAMP 2004). Plusieurs projets consacrés à l'élaboration d'outils d'évaluation tels qu'ARTEMIS⁸¹, STAIRRS⁸² et SUMMA⁸³ ont été lancés. Le projet SUMMA est notamment à l'origine du développement d'un système d'indicateurs destiné à mesurer la durabilité du secteur des transports.

En 1999, la Commission Européenne lance le projet TERM⁸⁴ (EEA 2001b) qui vise à collecter annuellement une trentaine d'indicateurs relatifs aux transports et à

⁷⁷ Les critères ont été sélectionnés afin d'appréhender tant les impacts au niveau régional et local qu'à un niveau plus global (eutrophisation, acidification, ozone, changement climatique).

⁷⁸ Les indicateurs d'activité « décrivent les infrastructures, les déplacements ou autres actions ». Les indicateurs d'« output » « décrivent les résultats finaux en terme d'impacts sanitaires et écologiques » (EPA 1996).

⁷⁹ Strategic Assessment Methodology for the Interaction of Common Transport Policy (CTP) Instruments, <http://www.cordis.lu/transport/src/sami.htm>

⁸⁰ Sustainable Transport in Europe and Links and Liaisons with America

⁸¹ Assessment of Road Transport Emission Models and Inventory Systems

⁸² Strategies and Tools to Assess and Implement noise Reducing measures for Railway Systems

⁸³ Sustainable Mobility, policy Measures and Assessments

⁸⁴ Transport Environment Reporting Mechanism

l'environnement⁸⁵ en utilisant l'approche force-pressure-état-réponse. Les objectifs concernant les impacts des transports sur l'environnement sont principalement basés sur les travaux de l'OCDE. La collecte des indicateurs est confiée à EUROSTAT et à l'Agence Européenne pour l'Environnement.

Finalement, les projets lancés dans le cadre du sixième programme cadre (2002-2006) se focalisent sur plusieurs thématiques telles que la durabilité des transports terrestres, la durabilité des systèmes énergétiques ou encore la durabilité du développement, le changement global et les écosystèmes.

2.1.4.2. Les recherches alpines

A l'initiative de l'Union Européenne le programme Interreg III B « Espace alpin » est lancé en 2001 pour une durée de six ans. Il vise à encourager un développement transnational durable dans l'espace alpin tout en cherchant à conforter le rôle d'entité territoriale centrale de cet espace. Une des priorités de ce programme, « *axée sur le développement de systèmes de transport durables dans un souci d'efficacité, d'intermodalité et d'amélioration de l'accessibilité* », est traitée par le projet MONITRAF (MONIToring des effets du TRAFic routier dans la région des Alpes et élaboration de mesures communes) approuvé en octobre 2004 et démarrant en 2005⁸⁶.

Le projet MONITRAF a pour objectif d'enregistrer et d'analyser les effets sur la santé des populations riveraines, sur l'économie et le tourisme du trafic routier intra- et transalpin le long des corridors de transit passant par le Brenner, le Fréjus, le Gothard et le Mont Blanc afin de mettre au point des mesures transnationales susceptibles de réduire les effets négatifs du trafic routier. Dans le cadre de ce projet, il sera également question de chercher des indicateurs pertinents qui permettraient d'évaluer les effets du trafic dans l'espace alpin et de réaliser des analyses comparatives.

Mené dans le cadre du programme Interreg III B « Espace alpin » et démarré en 2005, le projet ALPNAP (Contrôle et minimisation du bruit et de la pollution atmosphérique dus au trafic le long des principaux axes alpins de transport terrestre – EUROPEAN COMMISSION 2005) est considéré comme une prolongation académique du projet MONITRAF et a pour ambition de créer un large réseau transalpin d'experts dans les domaines de la météorologie, de la pollution atmosphérique, du bruit et des effets sur la santé. Les travaux se concentrent sur deux couloirs de transit : Fréjus, Brenner. De nouvelles méthodes de mesure et de simulation vont être testées le long de ces itinéraires. Le but du projet est de fournir des bases de décision et d'argumentation aux autorités étatiques et aux responsables politiques.

2.1.4.3. Les recherches nationales

La Suisse (OFS OFEFP ARE 2003), en acceptant la Déclaration de Rio de Janeiro et l'Agenda 21 en 1992, s'est engagée à définir et à mettre en œuvre une politique de développement durable. Le chapitre 40 de l'Agenda 21 stipule que des indicateurs doivent être définis et mis à jour régulièrement afin d'apprécier dans quelle mesure la Suisse respecte le mandat constitutionnel en matière de développement durable (NATIONS UNIES 1993).

Ainsi à la fin des années quatre-vingt-dix, en se fondant sur une série internationale d'indicateurs⁸⁷, l'Office Fédéral de la Statistique et l'Office fédéral de l'environnement ont

⁸⁵ Indicateurs contextuels (ex. : part des transports dans les émissions polluantes), impacts environnementaux des transports, utilisation efficiente des transports, demande et intensité de transport, signaux des prix, utilisation des terres et accessibilité, offre en transport (SUMMA 2003).

⁸⁶ « Première phase du projet MONITRAF sur le trafic routier », *Alpmedia* 11/2005, 02.06.2005, p. 3

⁸⁷ Liste des indicateurs de la Commission pour le Développement Durable des Nations Unies (Commission on

présenté une proposition relative à tous les secteurs concernant des indicateurs de développement durable (OFS OFEFP 1999). Quelques années plus tard, ces offices, conjointement avec l'Office Fédéral du Développement Territorial (ARE), ont élaboré une nouvelle proposition de «*monitoring du développement durable*». Concernant l'ensemble des secteurs, le projet MONET (MONET 2000-2003)⁸⁸ est un système d'indicateurs dont l'objectif est de créer une base permettant de mesurer le développement durable à l'échelle nationale. Il comprend actuellement 163 indicateurs dont 117 ont pu être réalisés avec les données et méthodes actuellement disponibles.

Concernant le domaine des transports, des systèmes d'indicateurs ont été recherchés dès la fin des années quatre-vingt. La publication intitulée «*Système d'indicateurs des coûts et avantages sociaux des transports en Suisse*» (DFTCE 1988, CGST 1978) présente l'étude des coûts et avantages sociaux engendrés par l'ensemble du réseau. Un système d'indicateurs à quatre niveaux (indicateurs de base ; indicateurs-source ; indicateurs d'immissions ; indicateurs d'impact), compatible avec les transports routier et ferroviaire, est proposé. Concernant les immissions, ce rapport indique l'intérêt d'avoir recours aux valeurs de concentration, valeurs qui dépendent fortement du lieu et du climat et qui nécessitent donc des mesures à plusieurs endroits.

Dans le cadre du Programme National de Recherche numéro 41 intitulé «*Transport et environnement*» (1996-2001)⁸⁹ divers travaux ont été réalisés afin d'améliorer les bases scientifiques pour une politique durable en matière de transport (54 projets sur 6 modules thématiques). Des propositions concernant des critères et indicateurs spécifiques au domaine des transports ont été faites (projets C5 (EBP 2000) et C7 (IKAÖ, EBP et al. 2000, IKAÖ, EBP 2000)).

Le PNR 41 met en évidence les besoins prioritaires de recherche qui concernent l'évaluation de la durabilité (développement d'instruments) et l'amélioration des critères et indicateurs de durabilité ainsi que leur harmonisation par le développement d'un système d'indicateurs «*trans-sectoriel*» (OETTERLI PERRET WALTER 2001).

Concernant le trafic de marchandises, une observation simultanée des composantes écologiques, économiques et sociales est exigée ainsi que l'accroissement du traitement des «*questions de non-discrimination des milieux concernés et de l'effet des décisions sociales sur le trafic*» par la politique et la recherche.

Dans le cadre de l'élaboration d'une stratégie présentant les possibilités permettant d'atteindre une mobilité durable d'ici 2030/2040 (IKAÖ EBP et al. 2000), il apparaît que les efforts transdisciplinaires ainsi que l'intégration des résultats des recherches en sciences sociales doivent être encouragés afin de combler les lacunes qui persistent en matière de connaissances relatives aux aspects sociaux et économiques d'un transport durable. Afin de mesurer la durabilité, des critères (cf. Figure 1) de durabilité relatifs au domaine des transports ont été définis (EBP 1998, EBP 2000). Bien qu'il n'existe toujours pas de consensus au niveau des objectifs ou mesures prioritaires dans le sens d'un transport plus durable, 28 indicateurs ont été proposés pour le domaine des transports (cf. Tableau 6).

Sustainable Development - CSD).

⁸⁸ Cf. références : OFS OFEFP ARE 2002 ; OFS OFEFP ARE 2003 ; OFS OFEFP ARE 2000 ; OFS OFEFP ARE 2001a ; OFS OFEFP ARE 2001b.

⁸⁹ Voir le site internet consacré à ce programme : www.nfp41.ch

Criteria	Indicators
Climate	Emissions of greenhouse gases [t CO ₂ -equiv./a]
Ozone Layer	Emissions of ozone layer destroying agents [t FCKW R11-Equiv./a]
Air Pollution	Air pollution in residential areas (NO ₂ , O ₃ , PM ₁₀) [% of excessively affected people] NO _x emissions [t/a] VOC emissions [t/a]
Noise	Noise levels in residential areas [% of excessively affected people] Noise levels in protected and recreational areas [% of excessively affected people]
Natural Habitats / Landscapes	Unfragmented areas [distribution of frequencies by size]
Resources	Consumption of fossil energy [J/a] Energy intensity [J/Pkm; J/tkm] Proportion of renewable energies [%]
Social Costs	Coverage of operating costs [%] Amount of external damage costs [CHF/a]
Price	Corrected prices of a specific transportation services [CHF/Pkm; CHF/tkm]
Solidarity	Public expenditures for selected beneficiaries [CHF/Inhabitants p.a.] Access to regional centres by public transportation [% of communities; % of population]
Safety / Security	Traffic casualties (Safety) [deaths and injuries/a] Crimes (Security) [criminal offences in public transport areas]
Settlements /Areas	Area occupied by transportation system [km ²] Share of transport system in total settlement area [%]
Participation	Degree of personal subjective satisfaction with participation opportunities [qualitative]
Individuality	(no suitable indicator found)

Tableau 6 : Aperçu des indicateurs définis par Schneider et Spilmann dans le cadre du PNR 41 (EBP 1998)

Afin « d'apprécier les effets sur l'environnement et le développement durable des mesures mises en œuvre dans les transports considérés comme un système », un modèle dynamique nommé MODUM (KELLER et al. 2000) a été élaboré. Il permet de modéliser les interactions entre l'offre et la demande ainsi que les effets sur l'environnement. Il distingue le transport ferré et routier et met l'accent sur le choix du moyen de transport mais ne fait pas d'autres distinctions spatiales. Il permet de calculer différents indicateurs de développement durable.

Parallèlement au PNR 41, le DETEC a défini dans sa stratégie (mai 2001) des critères du développement durable se rapportant notamment aux transports (OFROU 2003a) : « assurer le bien-être des êtres humains et réduire au minimum les risques pour la santé ainsi que le nombre des accidents » (justice sociale); « réduire à long terme les atteintes à l'environnement imputables aux transports » (viabilité écologique); « réduire la consommation des ressources non-renouvelables, en particulier la consommation d'énergie » (viabilité écologique); etc.

Dès 2001, le système d'objectifs et d'indicateurs de la mobilité durable (ZINV) de la KKV (Conférence de Coordination des Transports) du DETEC, développé sous la responsabilité de

l'ARE avec des représentants des différents offices fédéraux (OFROU, OFT, OFEV et OFAC), constitue la base de référence contraignante concernant l'appréciation des projets de transports de niveau national du point de vue du développement durable (cf. Annexe 4). Le texte de base, daté d'octobre 2001 (UVEK 2001), présente le catalogue du système d'objectifs ainsi que « les règles du jeu ». Le système repose sur trois éléments : un catalogue (« Zielsystem-Katalog ») ; « le portement d'un jugement au sujet de la durabilité d'un projet » (« Nachhaltigkeitsbeurteilung ») ; le regroupement des évaluations afin de comparer les différents projets (« Bewertungsmatrix ») (UVEK 2001). Provisoirement aucun indicateur n'est fixé étant donné qu'ils doivent être définis en fonction de chaque projet.

Ce système d'objectifs et d'indicateurs de la mobilité durable a été utilisé dans le cadre des projets suivants : NISTRA (Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte) ; Bahn 2000 2. Etappe und HGV-Anschlüsse Ostschweiz (Indikatorensystem zur Bewertung der Angebotskonzepte) ; Avanti (Indikatorensystem zum Vergleich der Ausbauabschnitte Genève-Lausanne, Berne-Zürich, Airolo-Erstfeld).

L'instrument dénommé NISTRA, élaboré par l'Office Fédéral des ROutes (OFROU), permet d'apprécier et d'optimiser les projets d'infrastructure routière selon les principes du développement durable (OFROU 2003a ; OFROU 2003b).

Concernant le transport routier, « l'examen d'opportunité des projets dans le domaine du trafic routier » est à la base des systèmes de critères. Différentes publications de l'Association Suisse des Ingénieurs en Transports (SVI⁹⁰) (JENNI & GOTTARDI AG 1999, EBP 2001b) font référence à la prise en compte des critères du développement durable dans le cadre de l'étude d'opportunité de projets de transport.

En Belgique, comme en Suisse, de nombreux efforts sont fait afin d'évaluer la durabilité du système de transport et d'agir en conséquence. Dans le cadre du programme fédéral « mobilité durable » (1996-2001), qui prolonge le programme d'impulsion « transport et mobilité », plusieurs projets ont été menés au niveau national.

Le projet SIDD «Système d'Information pour le Développement Durable » a pour objectif de développer une base scientifique afin d'analyser de manière approfondie notamment « la relation entre le transport et le développement durable à long terme » et les dommages que le transport « inflige à la société ». Dans le cadre de ce projet, la méthode « *driving force – pressure – state – impact – response* » (force agissante – pression – état – impact – réponse) préconisée par l'OCDE est utilisée afin de « *montrer les connexions entre les causes des problèmes environnementaux, leurs impacts et les réponses sociétales qu'ils suscitent* » (CEESE 1999).

Les coûts externes marginaux des différents moyens de transport (congestion, bruit, pollution de l'air⁹¹, usure des routes, accidents de la circulation) ont été estimés dans le cadre du programme « mobilité durable » sur la base des t/km réalisées. Un même schéma d'évaluation a été utilisé pour les différents modes de transport afin de pouvoir les agréger en convertissant les unités physiques en unités monétaires (DEGRANDSART 2000).

Des simulations du trafic jusqu'en 2010 ont été réalisées sur la base de matrices origines - destination et de prévisions quant à l'évaluation des trafics (BEUTHE JOURQUIN 2001).

La faisabilité de coupler un modèle de simulation de trafic avec un modèle de simulation des émissions atmosphériques a aussi été étudiée (SSTC 2001).

Largement évoqué dans le chapitre 40 de l'Agenda 21 (« L'information comme aide à la décision »), le besoin de disposer d'information intégrée fait l'objet d'un projet. En effet, le projet SMIS « Sustainable Mobility Information System » consiste à « *diriger tous les*

⁹⁰ Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure

⁹¹ PM₁₀, NO_x, VOC, SO₂, CO, CO₂

utilisateurs potentiels vers l'information et les données relatives aux transports et à la mobilité durable en Belgique ». A cette fin, une métabanque de données pour le développement durable est développée.

En France, un guide méthodologique relatif à l'évaluation environnementale des plans et programmes de transport a été élaboré par le ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement en 2001 (MICHEL MONIER 2001, CEMT 2004). Applicable à tous les modes de transport et à l'amont des procédures, cette démarche se divise en deux étapes : « *identification des enjeux environnementaux, évaluation des effets des scénarios étudiés* » et « *détermination des mesures d'accompagnement environnementales* ».

De nombreuses recherches ont été menées en Amérique du Nord.

Au Canada, des indicateurs ont été définis et mis en place pour différents modes de transport par Transports Canada dans le cadre de « *Stratégies de développement durable* », comprenant des comparaisons intermodales, principalement en ce qui concerne la consommation de carburant, les émissions de gaz à effet de serre et les principaux contaminants atmosphériques (PCA).

Aux Etats-Unis, une étude de l'Agence pour la Protection de l'Environnement, consacrée aux principaux modes de transport (routier, ferroviaire, aérien et maritime) et aux différents milieux (air, eau, utilisation du sol), calcule le coût du cycle de vie des différents modes de transport et présente des données quantitatives ainsi qu'un cadre pour le développement de différents types d'indicateurs destinés à classer les activités de transport compte tenu de leur impact sur l'environnement. Cette étude menée en 1996 (EPA 1996) a été mise à jour en 1999 (EPA 1999).

2.1.4.4. Synthèse

Que ce soit au niveau international, européen ou national, différents systèmes d'indicateurs ont été développés dès les années quatre-vingt-dix pour évaluer la durabilité des transports. Parmi les systèmes développés, seuls certains ont atteint un stade opérationnel.

Ces recherches, menées suite à la déclaration de Rio de Janeiro de 1992, ont été encouragées par l'OCDE, par l'Union Européenne (programmes cadres) ainsi que par certains Etats tels que le Canada, la Suisse ou la Belgique. En Suisse, la stratégie du DETEC ainsi que le PNR 41 sont à l'origine de l'élaboration d'indicateurs dans le domaine des transports.

Jusqu'à ce jour, aucun système d'indicateurs spécifique aux transports n'a été développé à l'échelle alpine.

L'état de la recherche dans ce domaine révèle que, compte tenu de la variété des objectifs auxquels ces systèmes d'indicateurs peuvent répondre, il n'existe pas un système universel. De plus, les recherches qui se focalisaient principalement sur les impacts environnementaux tendent à s'étendre progressivement aux impacts économiques et sociaux.

2.1.5. Conclusions sur l'état de la recherche

2.1.5.1. L'évaluation des impacts et de la durabilité

Les nouvelles préoccupations sur le devenir de l'environnement, apparues au début des années soixante, sont à l'origine du besoin d'identifier, d'évaluer ou encore de mesurer les

impacts environnementaux des activités humaines, puis de leur durabilité. Ces mesures ont une fonction d'analyse scientifique et d'aide à la décision.

Les méthodes choisies pour ces évaluations sont dépendantes des objectifs de l'évaluation. Ainsi, dans le domaine des transports ce sont essentiellement les méthodes d'évaluation économique utilisant une même unité de mesure (monétaire) qui ont été utilisées.

Encore peu courantes pour les problématiques relatives au domaine des transports, les méthodes d'évaluation multicritère, largement utilisées dans le domaine des études environnementales, sont progressivement reprises dans ce domaine pour évaluer les impacts ne pouvant être mesurés de manière monétaire (problèmes de planification – analyse de tracé). Ces dernières sont encore rarement associées aux Systèmes d'Information Géographique présentant d'importantes capacités analytiques pouvant aider à résoudre des problèmes liés à la décision (ex. : recherche de sites).

Alors que les méthodes économiques présentent de grandes divergences dans les évaluations, les méthodes d'évaluation multicritère tentent de pallier aux insuffisances du calcul économique classique et de la recherche opérationnelle (recherche de la ou les solutions les plus adéquates compte tenu d'un ensemble de critères).

Les évaluations menées dans le domaine des transports, principalement consacrées aux impacts induits par la construction de nouvelles infrastructures et donc indirectement aux nuisances induites par le trafic, s'intéressent plus rarement aux impacts liés aux variations du trafic.

Dès la fin des années quatre-vingt, l'évaluation des impacts induits par les transports a été adaptée à l'évaluation de la durabilité des transports. La considération des trois dimensions du développement durable et le développement de systèmes d'indicateurs (permettant de mesurer les progrès atteints dans le sens du développement durable) sont envisagés.

Compte tenu de la variété des définitions de la notion de développement durable, il est difficile de s'entendre sur ce qui doit être mesuré. Ainsi, aucune méthode de mesure n'est encore normalisée concernant l'évaluation de la durabilité. Toutefois, les problèmes complexes associés au développement durable exigent souvent le recours à des ensembles d'indicateurs pour faciliter l'acquisition des connaissances et de simplifier l'information. Les liens nécessaires entre différentes disciplines donnent un intérêt grandissant aux méthodes d'analyse multicritère ainsi qu'à l'analyse spatiale.

Au niveau international, des ensembles d'indicateurs concernant différents domaines comprennent certains indicateurs relatifs aux transports.

Les systèmes d'indicateurs développés au niveau européen, souvent pas encore opérationnels, se basent sur les orientations données au niveau national.

2.1.5.2. Les modes de transport et les impacts considérés

Que ce soit au niveau européen ou national, de nombreuses recherches sont consacrées à l'étude des impacts induits par les transports.

Lors de l'évaluation, les impacts sont la plupart du temps transformés en unités monétaires afin de calculer un coût total. Parmi les études menées au niveau régional, national ou international, il est possible de citer par exemple :

- les études trilatérales entre l'Autriche, la France et la Suisse sur les coûts externes de la santé imputables à la pollution de l'air par les transports (INFRAS IWW 2004b);
- la nouvelle étude de l'IWW (Karlsruhe/D) et de l'INFRAS (Zürich/CH) sur les coûts externes (accidents, bruit, pollution de l'air (santé, dommages matériels, biosphère), risques de changement du climat, autres effets environnementaux ou non, congestion)

- induits par les transports routier, ferroviaire, aérien et fluvial dans les Etats membres de l'UE, ainsi qu'en Suisse et en Norvège (INFRAS IWW 2004a) ;
- le projet ExternE (LANDRIEU et al. 2002);
 - le projet Recordit ;
 - l'étude sur les coûts externes du trafic interurbain en Belgique (BEUTHE et al. 2002);
 - la comparaison des coûts externes induits par le transport routier et ferroviaire réalisée par Forkenbrock (FORKENBROCK 2001).

Ces recherches, qui se focalisent parfois sur un seul impact telle que la pollution de l'air (cf. Tableau 7), tendent de plus en plus à étudier différents impacts induits par un, voire plusieurs modes de transport (cf. Tableau 7 et Tableau 8).

Transport routier	Etudes trinationales (Autriche, France, Suisse – PM ₁₀) Programme Ecosystème-Transports-Pollution (France)
Plusieurs modes de transport	ExternE

Tableau 7 : Recherches consacrées à la pollution de l'air induite par les transports

Un mode de transport (transport routier)	MONITRAF (santé, économie, tourisme / 4 corridors alpins) ALPNAP (pollution de l'air, bruit / 2 corridors alpins)
Plusieurs modes de transport	RECORDIT (pollution de l'air, bruit, congestion, accidents) COMMUTE (pollution de l'air, consommation énergétique, bruit, problèmes de sécurité) INFRAS IWW (pollution de l'air, bruit, accidents, changement climatique, nature et paysage) SMA ⁹² (pollution de l'air, bruit, paysage, santé / 2 corridors routiers et 2 corridors ferroviaires / Suisse) Programme belge « Mobilité durable » (pollution de l'air, congestion, accidents, bruit, endommagement des routes)

Tableau 8 : Recherches consacrées aux différents impacts induits par les transports

Le Tableau 9 donne un ordre de grandeur des coûts externes induits par les transports en Suisse.

en centimes par p-km ⁹³ ou t/km	santé (2000)	accidents (1998)	bruit (2000)	nature et paysage (2000)	bâtiments (2000)	total
route voyageurs	0,97	1,6	0,61	0,62	0,14	3,94
route marchandises	2,98	0,5	1,46	0,5	0,8	6,24
rail voyageurs	0,31	0,1	0,69	0,7	0,032	1,8
rail marchandises	0,56	0,03	0,28	1,2	0,078	2,15

Tableau 9. Coûts externes en Suisse (ARE 2005a)

⁹² Suivi des Mesures d'Accompagnement – Environnement (OFEFP 2002c).

⁹³ personne/kilomètre

En Europe, de grandes différences dans les méthodes de calcul sont observées. C'est notamment le cas dans les calculs relatifs au bruit causé par le trafic routier et ferroviaire. Ces différences ont été identifiées et expliquées principalement par la présence d'artefacts méthodologiques. Ainsi, désormais, que ce soit à l'échelle européenne ou nationale, l'harmonisation des méthodologies utilisées est encouragée (COMMUTE, MONITRAF, études trinationales sur les PM₁₀) afin d'obtenir des valeurs pouvant être comparées.

A ce sujet, il est également intéressant de mentionner qu'en Suisse, il n'existe pas de grille du bruit pour l'ensemble du territoire basé sur un SIG (OFEFP OFS 2000).

En ce qui concerne les discussions relatives au transport durable ou au développement d'indicateurs de durabilité, elles se limitent généralement aux impacts environnementaux des transports et mesures envisageables pour examiner ou limiter ces impacts. Jusqu'à récemment, les recherches se focalisaient principalement sur les impacts environnementaux (écologie, santé humaine)⁹⁴ ou encore sur l'interaction environnement-économie (CEESE 1999 ; EUROPEAN COMMISSION 2003 ; FEITELSON 2002). La prépondérance des indicateurs environnementaux s'explique en partie par la récence du concept de développement durable qui obligea les chercheurs à se concentrer sur un aspect, soit les aspects environnementaux, aux dépens des aspects sociaux et, dans une moindre mesure, économiques. Elle s'explique également par le fait que (EUROPEAN COMMISSION 2003) :

- « les sciences environnementales sont à la base du concept et du développement de la durabilité ;
- l'impact social est difficile à mesurer ;
- il n'y a pas beaucoup d'information au sujet du lien entre la durabilité sociale et le transport »⁹⁵.

La plupart des projets en transport sont consacrés à une ou deux dimensions du développement durable (environnement, société, économie) bien que les trois dimensions doivent être évaluées afin d'être capable de juger si une mesure s'éloigne ou va dans le sens de la durabilité. Plus récemment, la dimension sociale ainsi que les interactions entre société et économie et entre société et environnement tendent à être considérées (EUROPEAN COMMISSION 2003). En 2003, seuls deux projets de l'Union européenne couvraient les trois dimensions du développement durable à savoir le projet SAMI⁹⁶ (1997-2000 / 4^{ème} programme cadre) et le projet PROSPECTS⁹⁷ (2000-2003 / 5^{ème} programme cadre).

2.1.5.3. La prise en compte de la dimension spatiale

L'état de la recherche montre que les méthodes développées se focalisent principalement sur la dimension économique (ex. : étude d'INFRAS IWW) et non sur la dimension spatiale ou sur la localisation des impacts (EUROPEAN COMMISSION 2003). Cela est sans doute lié au fait que ce n'est que récemment que les modèles d'impacts environnementaux sont devenus importants parmi les modèles de planification spatiale (WEGENER 2001).

Toutefois, certains projets de recherche tels que le projet COMMUTE et le programme Belge « mobilité durable » tiennent compte de la dimension spatiale via une « approche réseau ».

⁹⁴ Compte tenu de la variabilité de la définition du terme « environnement », il est parfois difficile d'identifier les recherches intégrant les autres dimensions du développement durable à savoir les impacts sur la société et sur l'économie, ces derniers pouvant être intégrés ou non à l'environnement.

⁹⁵ Traduction de l'anglais

⁹⁶ Strategic Assessment Methodology for the Interaction of Common Transport Policy (CTP) Instruments, <http://www.cordis.lu/transport/src/sami.htm>

⁹⁷ Procedures for recommending optimal sustainable planning of European city transport systems, <http://www.ivv.tuwien.ac.at/projects/prospects.html>

D'autres projets récents, comprenant un travail relatif à la dispersion des nuisances, se focalisent alors plus ou moins sur la localisation des impacts (cf. Tableau 10).

ExternE	Dispersion des émissions
Recordit	Ne se focalise pas sur la localisation des impacts
SMA-CH	Mesures effectuées le long de 2 corridors routiers et de 2 corridors ferroviaires
Ökoscience	Etudes au niveau régional / local ex. : vallées alpines
Etude trinationale sur les PM₁₀	Dispersion des émissions
Programme Ecosystème-Transports-Pollution (France)	Dispersion des émissions

Tableau 10 : Prise en compte de la dimension spatiale

La prise en compte de la portée géographique de la durabilité est importante. En effet, il est peu probable que des objectifs satisfaisants au niveau global ou régional soient également satisfaisants au niveau local (EUROPEAN COMMISSION 2003). Cela est d'autant plus important si des espaces relativement hétérogènes, tels que des espaces regroupant des zones de montagne et des zones de plaine, sont considérés. Les recherches ayant abordé le côté modèle et modélisation des données spatiales à des fins d'aide à la décision sont encore rares (TIKNIOUINE EL ADNANI 2002).

Deux projets très innovants dans ce domaine, l'un mené en France par SCETAUROUTE et l'autre en Grèce (EFFECT), tiennent compte de l'importance relative des différentes régions traversées.

Dans les projets relatifs à la mesure de la durabilité et au développement d'indicateurs, la dimension spatiale est par contre encore peu intégrée. En effet, en Europe, des systèmes d'indicateurs sont souvent élaborés au niveau national afin de mesurer les efforts d'un pays dans le sens de la durabilité.

Ainsi, les indicateurs permettant de mesurer la durabilité des transports sont souvent « a-spatial », c'est-à-dire qu'ils ne sont pas mesurés en différents lieux ou régions permettant ainsi de comparer différentes situations à une échelle plus réduite que l'échelle nationale.

Selon Feitelson (FEITELSON 2002), les notions de développement durable, qui sont bien plus larges que celles impliquées par la relation entre la croissance et l'environnement, impliquent, en plus des dimensions environnementalistes et de développement, la dimension d'équité (PEZZOLI 1997, DOBSON 1998). Bien qu'il apparaisse dans un nombre encore très restreint de publication, l'objectif d'équité intergénérationnelle (entre les générations) et d'équité intragénérationnelle (au sein d'une même génération) devrait devenir une dimension essentielle pour atteindre un transport durable dans un avenir proche.

2.1.6. Apport de cette étude

Cette étude vise à développer une méthodologie innovante basée sur l'analyse décisionnelle. Le principal intérêt de cette thèse réside dans le développement d'une méthodologie consistant à agréger une importante quantité de données issues de sources variées afin d'évaluer la vulnérabilité des régions traversées au trafic.

L'originalité de cette thèse réside également dans la considération de la dimension spatiale qui permet de mettre en relation les données d'immissions et les données relatives au territoire (récepteurs) et, par conséquent, d'appréhender la vulnérabilité des régions traversées au trafic. Sur la base de l'évaluation de critères à une échelle locale et détaillée, cette étude vise à évaluer des critères de vulnérabilité globaux en appliquant des processus d'agrégation pertinents et efficaces pour identifier la part de la population affectée par les immissions considérées.

Un prototype, incluant quelques impacts significatifs à l'échelle de la Suisse, vise à monter les apports de cette méthodologie et son caractère opérationnel. Il présente également l'originalité de vouloir associer les incidences du bruit et celles de la pollution de l'air.

Chapitre 3. Aire de l'étude

3.1. Le trafic routier et ferroviaire

Cette recherche s'intéresse aux impacts induits par le trafic, que celui-ci soit ferroviaire ou routier. La focalisation sur le trafic tient au fait que cette recherche est inspirée du concept d'intermodalité (cf. 1.1.6).

Le transport intermodal vise à associer l'efficacité (les avantages) de plusieurs modes le long d'une chaîne de transport. Par efficacité, il faut entendre le coût compétitif pour une qualité du transport (temps de parcours, fiabilité de l'heure de livraison, sécurité de l'objet du transport, etc.) d'autant plus si l'on considère les coûts énergétiques, environnementaux et sociaux. Le développement de cette technique devrait ainsi incontestablement contribuer à un développement socio-économique durable, respectueux de l'environnement, basé sur une utilisation raisonnée, raisonnable et équilibrée des capacités existantes.

Le concept d'intermodalité ayant pour objectif d'aboutir à l'utilisation la plus efficiente possible du réseau de transport en optimisant la distribution du trafic entre les modes, il apparaît opportun de chercher à répondre à la demande des chargeurs au moyen des infrastructures de transport existantes ou planifiées et ceci de manière à minimiser les nuisances pour la collectivité⁹⁸.

Dans ce contexte, seuls les impacts environnementaux, sociaux et économiques induits par le trafic sont considérés. Ainsi, les impacts dus à la présence d'infrastructures de transport entraînant des effets de coupure, une consommation d'espace ou une agression visuelle ne sont pas pris en compte. Ce choix est lié d'une part, au fait que les infrastructures routière et ferroviaire existantes représentent souvent, pour les espaces traversés, un atout en terme d'accessibilité en permettant notamment d'assurer les trafics locaux et régionaux de personnes et de marchandises. D'autre part, les nuisances induites par le trafic variant fortement en fonction du mode de transport utilisé et des régions traversées, il s'avère intéressant de mener une recherche qui se concentre sur la répartition modale et spatiale du trafic.

Bien que cette recherche se focalise sur les impacts induits par le trafic transalpin de marchandises, les autres types de trafic, c'est-à-dire les trafics de voyageurs ainsi que les trafics de marchandises ne transitant pas à travers les Alpes (trafics locaux, régionaux ou nationaux) sont aussi inclus. Concernant le trafic routier, le trafic de marchandises comprend les poids lourds marchandises (PLM) incluant les camions⁹⁹ et les trains routiers articulés¹⁰⁰ alors que le trafic de voyageurs comprend les voitures de tourisme (VT)¹⁰¹, les voitures de livraison (VL), les motocycles (MC) ainsi que les cars (CAR).

Un des objectifs de cette recherche est de comparer une situation tenant compte de l'ensemble du trafic à une situation considérant uniquement le trafic de voyageurs et le trafic de

⁹⁸ La collectivité peut être définie comme un ensemble d'individus réunis par des intérêts et des buts communs. Dans cette recherche, la collectivité représente la totalité des acteurs de la société à l'exception des chargeurs (entreprise : propriétaire ou expéditeur de marchandises.), des transporteurs (assure le transport) et des opérateurs (personne physique ou morale qui mène ou met en place une opération de transport). Cette définition regroupe tous les acteurs qui « subissent » les conséquences du trafic de marchandises sans y participer directement (habitants, commerçants, entreprises, communes, etc.).

⁹⁹ Voitures automobiles lourdes servant au transport de marchandises et dont le poids total autorisé en charge (PTAC) est supérieur à 3,5 t, sans remorque ni semi-remorque.

¹⁰⁰ Voiture automobiles lourdes servant au transport de marchandises et dont le poids est supérieur à 3,5 t, avec remorque (train routier) ou semi-remorque (train semi-remorque).

¹⁰¹ « Voitures automobiles légères (aussi avec remorque) servant au transport de marchandises et dont le poids total max. ne dépasse pas 3,5 tonnes » (DETEC 2001).

marchandises ne transitant pas à travers les Alpes. L'ensemble du trafic, nommé « trafic total » dans cette recherche, comprend le trafic transalpin et le trafic « autre ». Alors que le trafic transalpin est composé uniquement du trafic de marchandises, le trafic « autre » se compose de l'ensemble du trafic de voyageurs ainsi que du trafic de marchandises « non transalpin ».

La comparaison de ces deux situations permettra ainsi d'appréhender les impacts induits par le trafic transalpin de marchandises.

Une distinction est faite entre les trafics diurnes, circulant donc entre 6 heures et 22 heures et les trafics nocturnes circulant entre 22 heures et 6 heures. Cette distinction fait référence au « *trafic moyen de jour et de nuit* » (Annexe 3) et à l'« *exploitation moyenne de jour et de nuit* » (Annexe 4) de l'Ordonnance sur la Protection contre le Bruit (OPB 1986 / cf. Annexe 3).

La considération de ces deux périodes s'explique d'une part par le fait que la répartition modale du trafic de marchandises peut être très différente selon la période considérée. En effet, en Suisse cette dernière est fortement influencée par l'interdiction¹⁰² faite aux poids lourds, soit aux véhicules routiers supérieurs à 3,5 tonnes, de circuler durant la nuit : « *La circulation des véhicules motorisés lourds destinés au transport des marchandises est interdite la nuit de 22 h à 5 h et le dimanche* » (article 2 de la LCR (LCR 2004)). Cette interdiction qui présente toutefois certaines exceptions (CH 1992), est encore loin d'être appliquée dans l'ensemble des pays de l'Union Européenne (CIPRA 2004a).

D'autre part, cette distinction est essentielle si des nuisances telles que le bruit sont considérées. En effet, la perception des nuisances induites par le trafic et par conséquent la gêne (cf. 3.2.3) provoquée peut être très différente en fonction de la période considérée.

3.2. Les impacts du trafic

Les impacts considérés dans cette recherche sont les impacts induits par le trafic ferroviaire et routier sur la mésologie, c'est-à-dire, ayant une influence sur l'homme, les animaux et les plantes par le milieu où ils vivent (cf. 1.1.3). La traduction directe de ces impacts est la modification de la qualité d'un milieu vital tel que l'air, l'eau ou encore le sol.

Ainsi, concernant les impacts, l'aire de la recherche s'étend à la pollution sonore (bruit), à la pollution atmosphérique, à l'insécurité (accidents et pollutions accidentelles) et à la congestion. Alors que les trois premiers ont un impact direct sur les êtres vivants et leur milieu à savoir l'air, les eaux et les sols, la congestion participe à la modification de la qualité de l'air par le biais de l'amplification des pollutions sonore et atmosphérique.

La congestion et l'insécurité (accidents) sont parfois distinguées des coûts d'environnement (cf. Tableau 11).

¹⁰² Interdiction introduite en mai 1989.

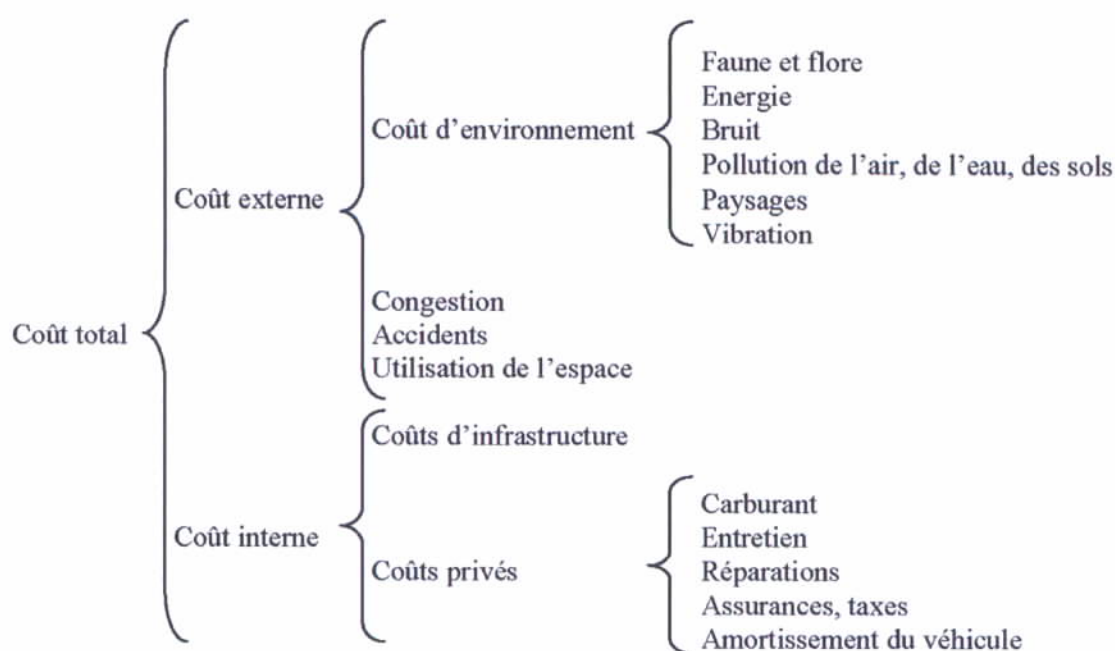


Tableau 11 : Décomposition du coût de transport (GREEN et al. 1997 selon QUINET 1998)¹⁰³

Compte tenu de l'envergure et surtout de la complexité des impacts pouvant être générés par le trafic routier et ferroviaire, cette recherche est appliquée à l'étude de l'impact de la pollution sonore et atmosphérique sur la population. La pollution sonore est intéressante à considérer puisqu'elle permet de comparer et d'additionner¹⁰⁴ les nuisances induites par les différents modes de transport. Le choix de la pollution atmosphérique, et plus précisément des immissions de particules, se justifie, quant à elle, par le fait que ce polluant, qui concerne des territoires relativement vastes, est considéré à l'heure actuelle comme le plus préoccupant pour l'homme (cancérigène). La vulnérabilité de la population aux nuisances tant sonores qu'atmosphériques ainsi que la disponibilité des données relatives à ce récepteur motivent le choix de ce récepteur.

Ainsi, pour tester la méthodologie, seul l'homme est considéré parmi les composantes de l'environnement et seul l'air est considéré parmi les milieux pouvant exercer une influence sur l'homme.

Les impacts induits par la congestion et l'insécurité ne sont pas développés dans cette recherche. Toutefois, il est envisageable d'appliquer la méthode à ces impacts par la suite.

La méthode développée peut également être appliquée à d'autres milieux tels que le sol, les eaux souterraines ou de surface ou encore à d'autres composantes de l'environnement ou récepteurs (ex. : faune ; plantes).

Il est aussi envisageable d'appliquer cette méthode aux impacts positifs du trafic incluant notamment les bénéfices économiques pouvant résulter du passage de voitures de tourisme ou de poids lourds (station essence, hôtellerie, restauration, etc.).

Les impacts considérés ont une influence non négligeable sur l'aire géographique de la recherche. En effet, en fonction de leur nature, les nuisances induites par le trafic peuvent avoir un impact à différentes échelles géographiques. Ainsi, le bruit a un impact au niveau

¹⁰³ Les accidents de la circulation sont à distinguer des accidents, accidents majeurs ou catastrophes (cf. 3.2.5).

¹⁰⁴ Cela n'a pas encore été fait à ce jour.

local alors que la pollution de l'air a un impact aux échelles locale, régionale voire globale en fonction du polluant considéré. Compte tenu des objectifs de cette recherche et de son application à l'ensemble du territoire suisse, des résultats sont attendus pour les différentes échelles bien que l'approche se focalise essentiellement sur l'échelle locale (dispersion des polluants primaires uniquement).

La congestion ainsi que l'insécurité ont également des impacts variés en fonction de l'échelle considérée. Ainsi, la congestion a un impact à l'échelle locale puisqu'elle est souvent à l'origine d'une augmentation de la pollution de l'air et du bruit mais a également un impact à une échelle plus globale, perturbant les échanges économiques.

3.2.1. Emissions, immissions, expositions

Dans le cadre de cette recherche, les émissions ainsi que les immissions sonores et atmosphériques sont considérées. Bien qu'aucune relation directe ne soit observée entre les émissions et les immissions, il y a une corrélation.

Par émission, on entend les polluants mesurés à la source, soit, au niveau de l'infrastructure, provenant des véhicules (trains, véhicules routiers). Les émissions dépendent généralement du type de véhicule, du nombre de véhicules, de la vitesse de circulation, des conditions de circulation et de l'infrastructure (ex. : déclivité).

Le bruit émis par une source variant dans le temps, les émissions sonores sont calculées au « niveau moyen » appelé également « niveau sonore équivalent » ou « niveau continu équivalent » [Leq]. Ce niveau moyen, exprimé en décibels [dB], est calculé en faisant « la moyenne de l'énergie des émissions sonores sur un certain laps de temps ». Il « présente la même énergie acoustique pendant le temps considéré que le niveau variable » (OFEFP 1988). Ainsi les moments de tranquillité, la fréquence des événements et les niveaux de pointe sont résumés en une seule valeur.

Les émissions atmosphériques sont calculées quant à elles au moyen de coefficients d'émission définis et mesurés pour les différents types de véhicules. En Suisse, ce sont généralement les coefficients d'émission intégrés dans le logiciel MICET qui sont utilisés (OFEV 2004). Les émissions atmosphériques provenant des véhicules routiers sont généralement exprimées en [g/km/véh].

Les immissions représentent la pollution atmosphérique ou sonore à l'endroit où elle déploie ses effets sur les différents récepteurs tels que l'homme, les animaux, les plantes, les sols ou les eaux. Les immissions sont mesurées ou calculées à partir des émissions et de modèles de dispersion. Les immissions de polluants atmosphériques sont proportionnelles aux valeurs du trafic par opposition aux immissions sonores qui sont fonction du logarithme du trafic.

Les modèles de calcul des immissions sonores se basent généralement sur les émissions au niveau de la source de bruit et sur la propagation de l'onde sonore dans le milieu ambiant. Cette propagation considère habituellement la distance entre le lieu d'immission et la source de bruit, l'influence du sol et l'influence des constructions et obstacles naturels sur la propagation du son (OPB 1986). Le calcul des immissions, à l'aide du niveau sonore équivalent, suffit pour décrire l'effet d'un bruit dans l'environnement général. Toutefois, afin de tenir compte de la spécificité de l'oreille humaine, l'article 38 de l'OPB recommande de déterminer les immissions sonores sous la forme du « niveau d'évaluation » [Lr]. Ce niveau tient compte de la description physique du bruit [Leq] mais également de l'appréciation subjective du genre de bruit par le biais de divers facteurs correctifs (K).

Les immissions de polluants atmosphériques ou niveaux de pollution représentent des concentrations et s'expriment en [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]. Elles sont essentiellement fonction du volume des

émissions et des conditions météorologiques (température, vent, turbulence de température, stabilité atmosphérique, précipitations et humidité) et topographiques (effet de vallée¹⁰⁵). Les immissions sont habituellement calculées sur la base des émissions et d'une fonction de dispersion. Les conditions météorologiques, qui ont une influence déterminante dans la formation, l'accumulation et la dispersion des polluants dans l'atmosphère, sont généralement prises en compte.

Les valeurs d'immissions combinées à des valeurs limites d'immissions (cf. 3.7.2) sont utilisées pour pouvoir surveiller l'exposition des récepteurs tels que la population aux nuisances sonores ou atmosphériques.

3.2.2. La pollution de l'air : les polluants primaires

La qualité de l'air, qui résulte d'un équilibre complexe entre les apports de polluants et les phénomènes de dispersion et de transformation dans l'environnement, peut être dégradée par l'émission de polluants gazeux, liquides ou solides (ex. : particules ; poussières). Cette pollution peut être d'origine naturelle ou anthropique.

Les principaux polluants atmosphériques se classent dans deux grandes familles : les polluants primaires et les polluants secondaires. Alors que les polluants primaires sont issus directement des sources de pollution (oxydes de carbone, oxydes de soufre, oxydes d'azote, hydrocarbures légers, composés organiques volatils, particules contenant ou non des composés métalliques ou organiques), les polluants secondaires résultent de la transformation de polluants primaires agissant en qualité de « précurseurs ». Ainsi, l'ozone troposphérique (O₃ / basse altitude), qui se forme essentiellement en été sous l'action des températures élevées et des radiations du soleil, est un produit synthétisé dans l'atmosphère au cours de réactions photochimiques subies par les oxydes d'azote (NO_x), les composés organiques volatils (COV) et le monoxyde de carbone (CO). La formation des polluants secondaires nécessite un certain temps. Les mouvements de l'atmosphère peuvent alors porter les polluants secondaires loin du lieu d'émission des polluants précurseurs. Cela explique pourquoi les polluants secondaires concernent souvent des territoires plus étendus que les polluants primaires. C'est le cas des pluies acides dont les oxydes d'azote et le dioxyde de soufre sont les précurseurs. Compte tenu de la difficulté à modéliser les réactions chimiques et, en conséquence, la formation de polluants secondaires, seuls les polluants primaires sont considérés dans cette recherche.

Finalement l'existence d'un polluant dans l'atmosphère peut se résumer en cinq étapes: son émission dans l'atmosphère, sa dispersion et son transport par le vent, ses interactions avec d'autres substances ou radiations et éventuelles transformations, avec production d'une pollution secondaire, son interaction avec d'autres milieux, par dépôt ou immission et enfin ses effets sur les milieux récepteurs (MINISTERE DE LA REGION WALLONE 1999).

¹⁰⁵ En montagne « la présence d'une vallée est généralement défavorable à la dispersion des polluants. Les couches d'air froid, plus denses s'accumulent dans le fond des vallées déterminant un gradient de température anormal et la formation de brouillards. Les polluants ont alors tendance à s'accumuler dans le fond de la vallée. » « Par contre, la présence d'une vallée dans une plaine peut favoriser la dispersion des polluants par suite des vents qui naissent entre la vallée et la plaine (brise de vallée) et entre le fond et le sommet de la vallée (brise de pente). Ces brises sont dues aux différences de température existant entre les diverses zones. La nuit, le fond de la vallée refroidit moins vite et les masses d'air du plateau descendent vers la vallée avec un rabattement des polluants (émis dans la vallée). Le matin, le phénomène s'inverse et le fond de la vallée se réchauffe moins vite que le plateau et les courants remontent de la vallée. » (Paramètres influençant la pollution, http://mrw.wallonie.be/dgrne/rapports/dppgss/air1999/intro/1_5.htm).

La pollution de l'air induite par les transports est fortement dépendante de la quantité et de la forme d'énergie utilisée par les véhicules. Par conséquent, la participation des différents modes de transport à la pollution de l'air est très variable.

En Europe (EU-25), l'énergie consommée par le trafic représente 31% de la consommation finale d'énergie en 2003 (Eurostat). Le trafic routier requière environ 82% de cette énergie. Le trafic aérien se place en deuxième position (14 %) devant le trafic ferroviaire (2,5%) et le trafic fluvial (1,5%) (EUROPEAN COMMISSION EUROSTAT 2003). L'énergie consommée est principalement d'origine pétrolière (route) mais également d'origine électrique (rail). En Europe, plus de la moitié de l'énergie électrique est produite à partir d'énergie fossile (55% - centrales thermiques), suivie par l'énergie nucléaire (40%) et par l'énergie hydraulique (5%) (BASSAN 2005 ; UIRR et al. 2003).

Comme dans les pays de l'Union européenne, l'énergie consommée par le trafic en Suisse représente environ 30 % (33%) de la consommation finale d'énergie en 2004 (OFEV OFS 2006). La majeure partie de cette énergie est requise pour le trafic routier (77%), suivie du trafic aérien (19%) et du trafic ferroviaire (4%) (LITRA 2004). L'énergie consommée l'est essentiellement sous forme de combustibles pétroliers (route) mais également sous forme d'électricité (rail) qui, en Suisse, est principalement d'origine hydraulique (WERMEILLE DE GEO 2002).

La forme de production d'énergie détermine les spécificités de la pollution atmosphérique. Le trafic, assuré principalement par une énergie issue de produits pétroliers, est à l'origine d'importantes émissions polluantes atmosphériques.

3.2.2.1. Le trafic routier

Parmi les modes de transport terrestre, le trafic routier est le principal émetteur de polluants atmosphériques. Les émissions proviennent essentiellement de la combustion incomplète des carburants et combustibles à des températures élevées (moteur à explosion) et, dans une moindre mesure, de l'abrasion des pneumatiques et de l'action de tourbillons de poussière (« resuspension »).

D'une manière générale, les véhicules routiers émettent les polluants primaires suivants (cf. Annexe 1) : dioxyde de soufre (SO_2), monoxyde de carbone (CO), dioxyde de carbone (CO_2), oxyde d'azote (NO_x), poussières (PM_{10}), hydrocarbures (HC). Parmi les polluants secondaires formés à partir de ces émissions se trouve l'ozone (O_3). Toutefois, les polluants émis varient fortement en fonction du carburant utilisé. Ainsi, les véhicules diesel et les véhicules à essence ne produisent pas les mêmes gaz d'échappement. Alors que les premiers présentent une meilleure efficacité énergétique et sont à l'origine de moins d'émission de gaz carbonique¹⁰⁶ (environ 12% d'émission en moins) que les véhicules essence comparables, ils émettent trois fois plus d'oxyde d'azote et mille fois plus de particules de poussières qu'un véhicule essence de même catégorie lorsqu'ils ne sont pas équipés d'un filtre à particules et d'un catalyseur de NO_x (OFEV)¹⁰⁷. « *Entre diesel et essence nous restons face à un choix cornélien : moins de CO_2 ou moins de poussières fines ?* » (OFEFP, 2004). Compte tenu du fait que les émissions induites par le trafic routier sont fortement dépendantes de la composition de la flotte (parc de véhicule), les émissions s'avèrent très variables selon les pays.

La dispersion et le dépôt des polluants atmosphériques émis par le trafic routier dépendent de nombreux facteurs : trafic, parc automobile, topographie et météorologie du site, stratification thermique de l'air, structure horizontale de l'atmosphère qui conditionne la direction et la force du vent, turbulences, précipitations, caractéristiques physico-chimiques des polluants

¹⁰⁶ Dioxyde de carbone ou gaz carbonique (CO_2)

¹⁰⁷ OFEV, Poussières fines - Les PM_{10} : petites mais problématiques – PM_{10} , site internet

(HERTIG 1999 ; DELETRAZ PAUL 1998). D'une manière générale, les concentrations des principaux gaz primaires ainsi que des poussières émises par le trafic sont fortes à proximité immédiate de l'infrastructure de transport puis diminuent avec l'éloignement.

Les émissions de polluants atmosphériques provenant du trafic routier sont également fortement dépendantes de la proportion des poids lourds marchandises. En effet, l'étude des coefficients moyens d'émissions relatifs aux voitures de tourisme et aux poids lourds marchandises montrent que ces derniers présentent des coefficients d'émission bien supérieurs (cf. Figure 4). Ainsi, par exemple en France, le trafic de marchandises est à l'origine de 34% des émissions provenant du secteur routier (LASSMAN-TRAPPIER 2004).

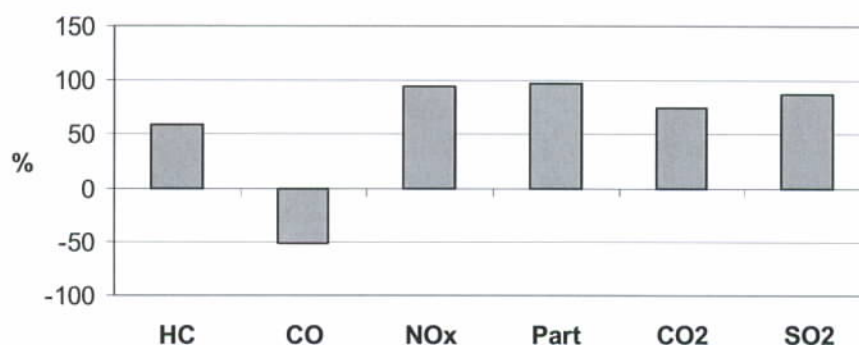


Figure 4 : Importance des émissions des poids lourds marchandises par rapport à celles des voitures de tourisme (MICET 2.1 – OFEV 2004)

Les émissions, engendrées par le trafic routier, sont fortement dépendantes du lieu d'émission. En effet, plusieurs études scientifiques, dont celle du bureau d'étude Ökoscience (INITIATIVE DES ALPES 2000), concluent que le trafic des poids lourds est plus polluant dans les vallées alpines que dans les plaines (cf. 3.4.4). Ainsi, selon l'étude d'Ökoscience menée au Gothard, la pollution d'un poids lourd est en moyenne trois fois plus importante en montagne qu'en plaine. En montagne, la proportion de pollution créée par les poids lourds est élevée étant donné que la consommation de ces véhicules augmente fortement en fonction de la déclivité. Selon l'INRETS (Institut National de REcherche sur les Transports et leur Sécurité) un poids lourd de 40 tonnes peut consommer 200 litres ou plus de carburant selon les moteurs aux 100 kilomètres dans une rampe de 7 %¹⁰⁸ contre une consommation d'environ 40 litres aux 100 kilomètres en plaine. Les fortes déclivités peuvent ainsi occasionner une élévation de la consommation de carburant de l'ordre de 1 à 5 (DURAND 2001).

Ces différences d'émission peuvent être d'autant plus importantes selon les périodes (jour / nuit) ou encore les saisons. Ainsi selon le bureau d'étude Ökoscience, un poids lourd est en moyenne six fois plus polluant la nuit que le jour et deux fois plus polluant en hiver qu'en été. « *Lorsqu'on sait qu'un poids lourd en plaine de nuit occasionne autant d'émission que 6 poids lourds de jour et que dans les Alpes un poids lourd occasionne de jour 3 fois plus qu'un poids lourd dans les plaines, de nuit il en émettra 18 fois plus...* » (DURAND 2001).

3.2.2.2. Le trafic ferroviaire

Le trafic ferroviaire, bien que dans une moindre proportion par rapport aux autres modes de transport dont la route, est également à l'origine d'émission de polluants atmosphériques. Ces moindres émissions s'expliquent d'une part par le fait que le transport ferroviaire, à

¹⁰⁸ Exemple : déclivité de la route permettant d'accéder au tunnel du Mont-Blanc

l'exception du transport combiné accompagné (IFEU SGKV 2002), consomme moins d'énergie primaire que le transport routier compte tenu d'un meilleur roulement sur le rail (peu de frottements), d'une décroissance de l'énergie nécessaire avec la vitesse du train et d'une faible énergie nécessaire au maintien de la vitesse une fois un train lancé. D'autre part, l'énergie utilisée pour son fonctionnement est, en Europe, principalement de source nucléaire. Toutefois, en Suisse (où le réseau ferroviaire des CFF est électrifié à presque 100%¹⁰⁹) l'électricité utilisée par les chemins de fer provient principalement de l'énergie hydraulique, une énergie renouvelable. Seul 0,25 % de l'électricité est fournie par l'énergie nucléaire (WERMEILLE DEGELO 2002).

Les émissions atmosphériques induites par le trafic ferroviaire proviennent essentiellement de l'usure par friction des freins, des roues, des rails et des caténaires et, pour une part minime, des gaz d'échappement des locomotives diesel (OFEFP 2002a). Compte tenu que les émissions induites par le trafic ferroviaire proviennent majoritairement de processus mécaniques d'usure, il émet principalement des particules. Les particules émises par les chemins de fer sont de taille plus importante que celles émises par le trafic routier et sont, par conséquent, moins nocives (cf. 3.2.2.4).

En 2000, le trafic ferroviaire était responsable d'environ 11%¹¹⁰ (de 800 à 1200 t/a) des émissions primaires de poussières fines en Suisse (OFEFP 2001). Bien que des recherches fournissent la preuve de l'existence des émissions et immissions de particules induites par le trafic ferroviaire, les données quantitatives sont affectées d'une grande incertitude étant donné la récence des mesures dans ce domaine. A ce sujet, citons les études sectorielles menées par les CFF (mesures des émissions sur un banc d'essai de freinage) et les mesures d'immissions de PM₁₀ et de fer réalisées par l'EMPA Dübendorf en 2001 (Brugg, Bâle, tronçon Bâle-Chiasso) dont une analyse plus poussée a été effectuée par l'Institut Paul Scherrer (EMPA IPS 2003).

Dans une volonté de rendre le système de transport plus durable, il est intéressant de recourir à l'usage du transport ferroviaire qui émet moins de polluants atmosphériques que le transport routier. Etant donné la longue durée de vie de ses véhicules et par conséquent la plus faible énergie grise nécessaire à leur élaboration, le transport ferroviaire présente également un avantage par rapport au transport routier.

3.2.2.3. Evolution des émissions

Le type et la quantité de polluants atmosphériques émis par les différents modes de transport terrestre et principalement le trafic routier, varient dans le temps compte tenu des progrès technologiques permettant de diminuer l'émission de certains polluants.

Ainsi des solutions ont été trouvées pour diminuer les émissions de polluants classiques tels que les oxydes d'azote, les hydrocarbures, la suie et le plomb (mesures à la source). Ces émissions sont en recul et devraient probablement être ramenées à leur niveau des années cinquante d'ici à 2020 (OFEV). Les émissions de plomb ont pu être réduites en encourageant l'utilisation de l'essence sans plomb. De plus, actuellement, la mise en place de filtres à particules et de catalyseurs de NO_x vise à réduire l'émission de ces deux polluants. Les pots catalytiques présentent un potentiel intéressant. En effet, ces dispositifs, placés dans les canalisations d'échappement, transforment les polluants émis en polluants non dangereux. Ainsi, certains catalyseurs permettent de transformer les oxydes d'azote en azote et les oxydes de carbone et les hydrocarbures en vapeur d'eau et en gaz carbonique (MOUVIER 1994).

Les émissions de CO₂ et de poussières fines sont quant à elles en augmentation. Ces dernières sont influencées par l'augmentation de la circulation de véhicules diesel.

¹⁰⁹ LITRA, Chronique des transports, mai 1997

¹¹⁰ Le trafic routier a participé à 23% des émissions.

3.2.2.4. Les particules

Les particules sont des poussières polluantes de compositions diverses (métaux lourds, sulfates, nitrates, ammonium, carbone organique, hydrocarbures polycycliques aromatiques, dioxines et furanes) et de tailles comprises entre 0,001 et 50 μm . Parmi les particules de poussière qui restent en suspension dans l'air et qui sont donc respirables (diamètre inférieur à 10 μm) une distinction est faite entre les « particules ultrafines » (diamètre aérodynamique < 0,08 μm), les « particules fines » (0,08 à 2,5 μm) désignées par l'abréviation $\text{PM}_{2,5}$ et les « particules grossières » (2,5 à 10 μm) désignées par l'abréviation PM_{10} (OFEFP 2001). Malgré cette distinction, les particules respirables sont souvent appelées « particules fines » ou PM_{10} dans la littérature. Le terme de particules ou l'abréviation PM_{10} sont utilisées dans ce rapport pour désigner les particules respirables dont le diamètre est inférieur à 10 μm .

Les particules, résidus d'une combustion incomplète, proviennent de sources naturelles (ex. : activité volcanique ; érosion) ou anthropiques (ex. : activité industrielle ; transport ; chauffage au bois).

En Suisse, les transports participent à 36% des émissions de PM_{10} (OFEFP 2001). La granulométrie ainsi que la composition chimique des particules émises par le trafic ferroviaire diffèrent des particules émises par le trafic routier. Ainsi, alors que les particules émises par le trafic routier peuvent être de très petite taille (particules de poussières d'un diamètre de 10 μm (PM_{10}) et parfois inférieur à 2,5 μm), les particules émises par le trafic ferroviaire ne se présentent pas sous la forme de PM_{10} mais de plus grandes particules. De plus, le processus ayant engendré ces particules n'étant pas le même, les particules émises par le trafic ferroviaire sont composées essentiellement de fer ou de composants minéraux (sabots de frein en fonte, rails)¹¹¹ (OFEFP 2001) alors que les particules émises par le trafic routier, qui résultent pour une majeure partie de la combustion de carburant, se composent de carbone élémentaire ou organique.

Les PM_{10} émises par le trafic sont issues de processus de combustion et de processus mécaniques (abrasion, tourbillons). Toutefois, la majeure partie de ces émissions est imputable à l'abrasion et à l'action de tourbillons de poussière (60% environ dans le cas du trafic routier et jusqu'à 98% pour le trafic ferroviaire) (OFEFP 2001).

Les transports et principalement le trafic motorisé sont une source importante de particules. L'étude trinationale (Suisse / Autriche / France), réalisée en collaboration avec l'OMS (WHO 1999) en vue de la 3^{ème} Conférence ministérielle sur l'environnement et la santé (Londres 99), attribue plus de 50% des émissions de particules (PM_{10}) aux transports. Des mesures réalisées à Zürich mettent en évidence l'importante participation du trafic des poids lourds (HÜGLIN 2000) : « Avec un pourcentage de véhicules utilitaires lourds de 7% du volume du trafic total, la contribution de ces derniers aux émissions primaires de PM_{10} du trafic routier atteint environ 50% pour ces stations de mesure ».

Les véhicules diesels, dont font partie les poids lourds, sont les principaux émetteurs routiers et génèrent des particules d'un diamètre inférieur à 0,5 μm qui sont considérées comme cancérogènes¹¹² et très nocives pour l'homme.

Plusieurs études épidémiologiques indiquent qu'une concentration plus ou moins forte en particules peut provoquer des atteintes à la santé (HÜGLIN 2000). C'est notamment ce que concluent les auteurs de l'étude Salpaldia¹¹³ : « La fréquence de certaines maladies respiratoires (bronchites chroniques, étouffements, etc.) est en rapport direct avec la

¹¹¹ « Le matériel roulant destiné au transport de personnes est doté de systèmes de freinage différents, constitués d'autres matériaux à plus faible teneur en fer » (Résultats des mesures effectuées par l'EMPA Dübendorf - OFEFP 2001).

¹¹² Se dit également cancérogènes.

¹¹³ Etude sur la pollution atmosphérique et les maladies respiratoires www.sapaldia.ch (2001).

pollution atmosphérique à laquelle est exposée la personne vivant dans la localité ». Selon certains scientifiques, il n'y aurait pas de valeur au-dessous de laquelle les particules seraient inoffensives.

La nocivité pour l'homme dépend de la taille des particules. En effet, plus les particules sont de taille réduite, plus elles pénètrent loin dans les voies respiratoires. Ainsi, les particules dont le diamètre aérodynamique est supérieur à 10 μm sont arrêtées par les muqueuses du naso pharynx, les particules dont le diamètre est compris entre 5 et 10 μm ont tendance à être bloquées dans les voies aériennes supérieures et les particules de plus petite taille, soit d'un diamètre inférieur à 5 μm , pénètrent dans les voies respiratoires et se déposent dans les bronches et les alvéoles pulmonaires où elles peuvent pénétrer profondément dans les plus petites ramifications des poumons, puis dans les vaisseaux sanguins et lymphatiques.

La structure des particules explique également cette nocivité étant donné qu'elle permet d'accumuler d'autres substances toxiques dont des composés chimiques cancérogènes ou mutagènes. Selon l'OFEFP (OFEFP 2001), ce mélange de composés chimiques « *provoque des inflammations locales des voies respiratoires et peut avoir de graves conséquences pour la santé : toux, dyspnée, bronchites, asthme, maladies des voies respiratoires et du système cardiovasculaire (décès prématurés, cancer des poumons)* ». Ainsi, une augmentation durable de la concentration de particules présente un risque important pour les populations exposées tant en ce qui concerne l'apparition de maladies respiratoires (dégradation de la fonction pulmonaire), les risques de cancer (poumons) ou encore l'augmentation de la mortalité (décès prématurés, réduction de l'espérance de vie). Les personnes déjà malades sont d'autant plus sensibles à cette pollution qui tend à rendre les phases sans symptôme plus brèves.

A ce sujet, de nombreuses informations complémentaires peuvent être trouvées parmi la littérature (JOURNARD 1982 ; MARTIN MAYSTRE 1988 ; SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE SANTÉ PUBLIQUE 1996 ; WATSON et al. 1988 ; STERN 1962 ; documents de l'OFEV anciennement OFEFP).

3.2.2.5. Le dioxyde de carbone

En Europe (EU-15), le secteur des transports est à l'origine d'environ 30 % des émissions de CO_2 (28,5% en 2002). 24 % de ces émissions sont attribuables au trafic routier, 3,8% au trafic aérien, 0,5% à la navigation intérieure et enfin seulement 0,2% proviennent du trafic ferroviaire (COMMISSION EUROPÉENNE 2004).

Le trafic routier émet ainsi 84% des émissions de CO_2 provenant du secteur des transports. La combustion incomplète de l'essence, qui est composée d'hydrocarbures (chaîne de carbone et d'hydrogène), est à l'origine de la transformation du carbone en dioxyde de carbone.

Alors que les émissions induites par le trafic ferroviaire et le trafic fluvial tendent à stagner, les émissions de CO_2 engendrées par le trafic routier et, dans une moindre mesure, le trafic aérien tendent à croître de manière assez importante dans les pays de l'Union Européenne (cf. Figure 5).

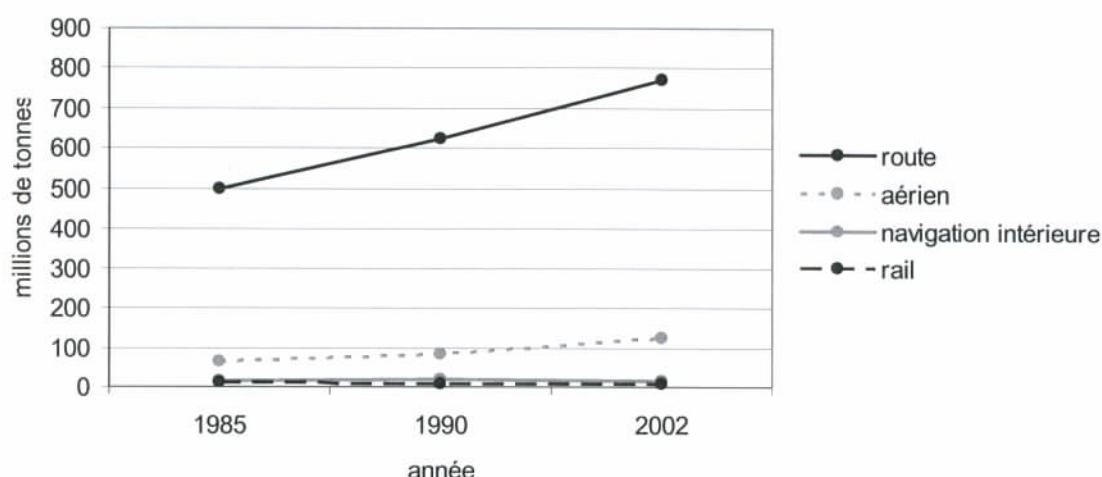


Figure 5 : Emissions de CO₂ des transports entre 1985 et 2002 (EU 15) – (COMMISSION EUROPEENNE 2004)

Les améliorations techniques apportées aux véhicules routiers (notamment les moteurs à injection directe) ont permis de réduire la consommation d'essence et donc les émissions de CO₂. Toutefois, les efforts réalisés dans ce domaine sont compensés par l'augmentation importante du trafic routier durant ces mêmes années.

En Suisse l'application du protocole de Kyoto est à l'origine de la loi sur le CO₂ (Loi sur le CO₂ 1999). D'ici à 2010, les émissions de CO₂ devront être réduites de 10% (combustibles 15% ; carburants 8%) par rapport à 1990 (OFEFP OFS 2005).

Contrairement aux émissions de particules, les émissions de CO₂ ne sont pas directement nocives pour l'homme. La préoccupation au sujet des émissions de CO₂ tient au fait que ce polluant est le principal responsable de l'effet de serre.

L'effet de serre est un phénomène naturel qui est nécessaire à la vie sur terre étant donné qu'il est responsable du fait qu'il règne une température moyenne de 15°C et non de -18°C. Ce gain de chaleur provient de l'absorption du rayonnement thermique émis par la terre¹¹⁴ par les gaz dits à effet de serre (GES - constituants de la basse troposphère) : vapeur d'eau, dioxyde de carbone, méthane, protoxyde d'azote, ozone troposphérique, chlorofluorocarbures. La participation de ces gaz à l'effet de serre dépend de leur concentration et de leur capacité à absorber le rayonnement infrarouge¹¹⁵. L'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre, dans des proportions et à une vitesse encore jamais observées, pourrait être liée à l'augmentation d'émissions d'origine anthropiques de polluants atmosphériques. En effet, les fluctuations naturelles ne semblent pas expliquer à elles seules la hausse de la température moyenne de 0,5°C au cours des cent trente dernières années. Cette augmentation de la température moyenne sur terre pourrait entraîner une hausse du niveau des océans, une modification de l'intensité et de la fréquence des précipitations, une modification de la biodiversité, une progression des zones arides et désertiques, etc. (CERCL'AIR et al. 1996). Le réchauffement provoqué par une augmentation de l'effet de serre devrait ainsi être à l'origine de nombreuses conséquences qui pourraient altérer de manière précoce la santé des générations futures.

¹¹⁴ « Le soleil envoie sur la terre une énergie lumineuse importante qui, pour 70%, est absorbée puis transformée en chaleur dans l'atmosphère, notamment à la surface des océans et des terres émergées. Les 30% restant correspondent à l'énergie réfléchie par la terre et par l'atmosphère, surtout par les nuages » (MOUVIER 1994).

¹¹⁵ Par exemple, « pour une masse donnée, le méthane est cinquante-huit fois plus absorbant que le gaz carbonique » (MOUVIER 1994).

« Sans doute, l'espèce humaine mourra-t-elle d'abord de pollution, et donc des maladies qu'elle a provoquées, avant de mourir des conséquences physiques, climatiques et socio-économiques de l'effet de serre » (BELPOMME 2004).

3.2.3. La pollution sonore

A la différence de la pollution atmosphérique, le bruit ne pollue aucun milieu vital (cf. 1.1.3). Ainsi, alors que les polluants atmosphériques produisent leurs effets sur les hommes par l'intermédiaire de l'air, les émissions sonores ont un effet direct sur les hommes (OFEFP 2002b).

Le trafic, qu'il soit routier ou ferroviaire, est à l'origine d'un son c'est-à-dire d'un phénomène physique dû à une variation rapide de la pression atmosphérique (mouvement oscillatoire de l'air) qui se propage sous forme d'ondes¹¹⁶. La propagation de ces ondes sonores est influencée par la géométrie du site, l'effet de sol ainsi que les conditions météorologiques (BERENGIER CREMEZI CHARLET 2003).

Cette vibration acoustique est susceptible d'éveiller une sensation auditive (PINCONNAT 2003; OFEFP OFAT 1988). Dès lors que cette sensation auditive est perçue par l'homme comme étant agréable et relaxante ou au contraire comme gênante et désagréable voire comme inconfortable ou nuisible pour la santé, le son est réparti dans les catégories silence¹¹⁷ et bruit (OFEFP OFAT 1988). Alors que le son est un phénomène physique mesurable, le silence et le bruit sont des sensations subjectives qui font référence à la perception et à l'appréciation humaine (OFEFP 2002d). Le bruit, qui peut varier en intensité, en fréquence ainsi qu'en durée, est d'une part un phénomène physique (« combinaison aléatoire d'un très grand nombre de sons » – HERTIG 1999) et d'autre part une perception individuelle. Cette dernière confère au bruit une dimension socio-psychologique (OFEFP 2002b).

3.2.3.1. Niveau sonore pondéré, niveau moyen et niveau d'évaluation

Le niveau de bruit perçu est appelé niveau sonore ou niveau de pression acoustique. Les valeurs de pression acoustique [Pa] pouvant s'étendre sur une grande amplitude, une échelle logarithmique, celle du décibel [dB], est utilisée¹¹⁸. Le décibel exprime ainsi le niveau de pression acoustique par rapport à une pression de référence¹¹⁹. La perception d'un son n'est pas proportionnelle à l'excitation reçue mais suit une loi logarithmique. Ainsi, une augmentation de 10 dB représente une énergie dix fois plus forte et est généralement perçue comme un niveau de bruit deux fois plus intense¹²⁰. De plus, la variation d'un son d'environ 1 dB est inaudible et celle de 3 dB est faiblement audible bien que cette dernière corresponde à un doublement de l'énergie sonore.

La perception des sons dépend du niveau sonore mais également de la fréquence [Hz], c'est-à-dire du « nombre de fluctuations par seconde de la pression acoustique autour de la pression atmosphérique » (PINCONNAT 2003). Notre système d'audition n'étant pas également sensible à toutes les fréquences, les bruits graves, aigus ou de large bande¹²¹ ne sont pas

¹¹⁶ « Les ondes sonores se caractérisent notamment par leur pression acoustique (variation de la pression), leurs caractéristiques spectrales (fréquence) et leur déroulement dans le temps » (OFEFP OFAT 1988).

¹¹⁷ « Le silence peut signifier l'absence de son, état toutefois pratiquement introuvable dans la nature » (OFEFP OFAT 1988).

¹¹⁸ « Un doublement de la pression sonore équivaut à 6,02 dB » (HERTIG 1999).

¹¹⁹ L'échelle des décibels pour les pressions acoustiques utilise comme pression de référence la pression du bruit le plus faible qu'une jeune personne en santé peut entendre (0,000 02 Pa).

¹²⁰ Nuisances sonores à Genève, Site officiel de l'Etat de Genève, www.geneve.ch; OFEFP 2005

¹²¹ ex.: chute d'eau

perçus avec la même intensité. Afin de tenir compte de la sensibilité spécifique de l'oreille humaine lors de l'appréciation d'un niveau sonore, la valeur en décibel est pondérée à l'aide d'un filtre qui a les mêmes caractéristiques de réponse qu'une oreille moyenne en rapport avec la fréquence (filtre A, B et C). Le plus fréquemment utilisé est le filtre A ou pondération A qui pondère à la hausse les fréquences perçues comme les plus dérangeantes. Ainsi les plus basses fréquences sont mesurées comme moins importantes que les moyennes et hautes fréquences¹²². Les pondérations fréquentielles utilisées en acoustique ont été obtenues à partir d'expérimentations sur un grand nombre d'individus ayant permis de définir un réseau de courbes isosoniques (PINCONNAT 2003).

L'ouïe de l'homme perçoit les sons situés entre 0 et 130 dB(A) soit le seuil d'audibilité et le seuil de la douleur (Figure 6). Le dB(A) est actuellement l'unité la plus fréquemment utilisée pour toutes les mesures ou indicateurs relatifs au bruit (T&E 2000).

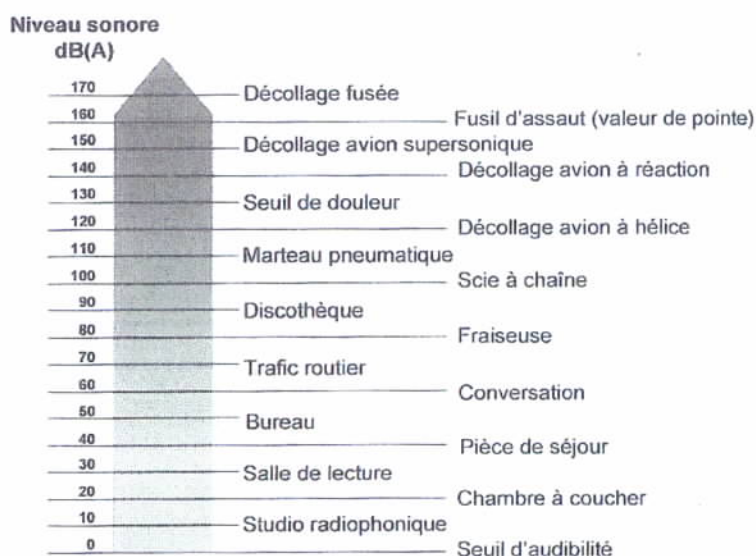


Figure 6 : Aperçu de différents niveaux sonores (OFEFP 2002b)

Compte tenu que la nocivité d'un bruit dépend également de la durée d'exposition et que le bruit émit par une source telle que le trafic varie dans le temps, les émissions sonores sont calculées au moyen d'un « niveau moyen », « niveau sonore équivalent » ou « niveau continu équivalent » [Leq]. Ce niveau permet de résumer les moments de tranquillité, la fréquence des événements et les niveaux de pointe en une seule valeur en faisant « la moyenne de l'énergie des émissions sonores sur un certain laps de temps » (OFEFP 1988).

Les effets nuisibles ou la gêne provoqués par les divers types de bruit tels que le trafic routier ou le trafic ferroviaire dépendent de la sonie (niveau énergétique filtré) mais également de divers facteurs psychologiques. La sensibilité au bruit dépend des différents spectres de bruit et de la continuité du bruit. Par conséquent, il est recommandé d'évaluer les immissions sonores sous la forme d'un « niveau d'évaluation » [Lr]. Ce niveau tient compte de la description physique du bruit [Leq] mais également de l'appréciation subjective du genre de bruit par le biais de divers facteurs correctifs (K). Ainsi, une correction négative de 5 dB(A) est appliquée pour le bruit du trafic ferroviaire qui, pour un même volume sonore, est mieux toléré que le bruit du trafic routier. Cette meilleure tolérance est liée au fait que le bruit induit

¹²² Résumé d'orientation des Directives de l'OMS relatives au bruit dans l'environnement, www.who.int/environmental_information/Noise/bruit.htm

par le trafic ferroviaire intervient de façon intermittente et non persistante (KÜRER 1993). La moindre gêne du bruit ferroviaire par rapport au bruit routier pour un même niveau sonore est confirmée par des études menées par Miedema (MIEDEMA H.M.E. & OUDSHOORN C.G.M. 2000).

Le niveau d'évaluation, pouvant être comparé aux valeurs limites d'exposition (VLI / cf. 3.7.2), permet d'identifier l'impact des immissions sonores. Des valeurs limites similaires existent pour le trafic ferroviaire et routier. Par conséquent, l'addition des immissions sonores induites par ces deux trafics est intéressante dans le but d'obtenir une vision globale de l'impact sonore du trafic dans son ensemble. Les niveaux sonores provenant de sources différentes, telles que le trafic routier et le trafic ferroviaire, peuvent être additionnés si ces niveaux de bruit sont exprimés avec la même pondération. Pour cette addition, la formule figurant dans l'OPB (OPB 1986) est utilisée. Ainsi, la somme logarithmique de deux bruits Leq_1 et Leq_2 est égale à :

$$Leq = 10 \log (10^{+0,1 Leq_1} + 10^{+0,1 Leq_2}).$$

Il convient de mentionner qu'à ce sujet, lorsque deux sources sont à l'origine d'émissions sonores différant de 12 dB(A) ou plus, le bruit le plus fort masque le bruit le plus faible (DUMONT TILLE 2000).

3.2.3.2. Les vibrations

Le trafic qui est à l'origine d'émissions sonores est également responsable de vibrations et d'un son solidien. Les vibrations, principalement induites par le trafic ferroviaire et par les poids lourds en ce qui concerne le trafic routier, consistent en des oscillations mécaniques dans des corps solides. La physique est donc la même que pour le bruit étant donné qu'il s'agit de la transmission d'ondes dans un milieu continu (HERTIG 1999) : « *le bruit représente la transmission d'une onde de pression supposée élastique dans l'air* » ; « *la vibration est la transmission d'une onde de déformation élastique dans un solide* ».

La propagation de ces ondes vibratoires dans un bâtiment entraîne une variation de pression de l'air qui est perçue par l'homme comme un grondement sourd (OFEFP 2005). Ce bruit est appelé bruit solidien secondaire.

3.2.3.3. Le bruit du trafic routier et ferroviaire

En Suisse, le trafic constitue la première source de bruit (OFEFP 2002d), en particulier en milieux urbains. Il est à l'origine d'environ 80% des nuisances sonores.

Le trafic routier est le principal responsable de ces émissions puisqu'il est à l'origine de 75% des émissions sonores induites par le trafic (ATE 2004). De plus, le réseau de transport routier étant plus dense que le réseau ferroviaire, les émissions sonores qu'il engendre concerne un nombre plus important de personnes.

Le trafic de marchandises est souvent la principale cause des problèmes de bruit. C'est notamment le cas du trafic fret ferroviaire européen qui circule essentiellement de nuit et dont les wagons sont équipés de semelles en fonte grise (UNION EUROPEENNE 2004).

Le bruit émis par les transports est d'autant plus préoccupant que le trafic tant routier que ferroviaire de voyageurs et de marchandises croît et qu'un doublement des émissions à la source correspond à une augmentation de 3 dB(A).

Le bruit du trafic routier dépend de plusieurs facteurs dont la densité du trafic, la qualité du revêtement, la vitesse des véhicules, la déclivité de la route et la proportion de poids lourds.

La vitesse influence le bruit du trafic routier qui présente deux composantes distinctes, à savoir le ronflement du moteur et le roulement des pneus sur la chaussée. Le bruit du moteur tend à être couvert par le bruit du roulement avec la vitesse. Ainsi, les émissions sonores proviennent du moteur lorsqu'une voiture circule à moins de 50 km/h et à une vitesse supérieure le roulement domine le bruit du moteur et détermine alors le niveau sonore total (CERCLE BRUIT 1998). Dans le cas des poids lourds, qui sont environ dix fois plus bruyants que les voitures de tourisme (OFEFP 2005), le bruit engendré par le moteur tend à être couvert par le bruit du roulement des pneus à partir d'une vitesse de 60 à 80 km/h. Cette vitesse dépend du bruit du roulement qui est déterminé par le nombre de roues (CERCLE BRUIT 1998).

La déclivité de la route a également une influence sur le niveau sonore total émis par le trafic routier. En effet, le bruit du moteur tend à être plus important en montagne qu'en plaine étant donné l'utilisation de rapports de vitesse inférieurs lors de rampes (montées) et de pentes (descentes).

La charge de trafic et la proportion de poids lourds sont déterminantes dans la valeur du niveau sonore. La taille du poids lourd ne semble pas avoir une influence significative sur les émissions sonores. Toutefois, le nombre de roues qui a une influence dépend généralement de la taille et du poids du véhicule. D'une manière générale, une différence d'environ 10 à 12 dB est observée entre les voitures de tourisme et les poids lourds. Un poids lourd est ainsi aussi bruyant qu'environ 10 à 15 voitures de tourisme (CERCLE BRUIT 1998). Sur une autoroute ou une route principale, soit à une vitesse d'environ 80 km/h, un poids lourd produit autant de bruit que 6 voitures de tourisme. Les émissions sonores diffèrent alors de 8 dB environ. Des données relatives au niveau sonore effectif des poids lourds et au volume sonore émis par chaque passage de poids lourds sont fournies par Kürer (KÜRER 1993) à partir d'informations de l'ancienne République Fédérale d'Allemagne.

Le bruit produit par le trafic routier varie relativement fortement durant une journée et tend généralement à décroître plus rapidement que le bruit ferroviaire après 20 heures. Contrairement au trafic ferroviaire, le transport routier des marchandises la nuit et le dimanche est interdit¹²³ en Suisse.

Comme pour le trafic routier, le bruit du trafic ferroviaire dépend de certains facteurs dont la déclivité de l'infrastructure ferroviaire, la vitesse du train, la technique (roues, bogies¹²⁴, freins) et par le nombre d'essieux et de passage.

Jusqu'à des vitesses d'environ 200 km/h, le bruit provenant du trafic ferroviaire est principalement produit par les roues des wagons et des voitures (DUMONT TILLE 2000), des bogies¹²⁵ et des freins (bruit mécanique). Ces derniers ont une influence importante sur le niveau sonore induit par le trafic ferroviaire. En effet, les wagons ou voitures équipés de freins à sabots en fonte grise émettent deux fois plus de bruit que ceux équipés de freins à disques ou à tambour (CFF non daté). Actuellement en Suisse, la plupart des voitures sont équipées de freins à disques alors que la majorité des wagons sont équipés de frein à sabot. Progressivement, les freins des trains marchandises sont remplacés par des freins à disques. En Europe, encore peu de trains sont équipés de ces freins moins bruyants.

D'une manière générale, les estimations relatives au bruit induit par le passage d'un train sont plus élevées que pour un camion. Le niveau sonore d'un train est proche de 90 voire 100 dB alors que les poids lourds peuvent émettre de 70 à 95 dB (KÜRER 1993 ; US DOT/BTS 1994 selon OCDE 1997). Toutefois, les émissions en décibels par tonne sont légèrement plus

¹²³ Les premières mesures antibruit de la Confédération datent de 1934.

¹²⁴ Ex. : bogie LEILA-DG

¹²⁵ « Châssis à deux ou parfois trois essieux portant l'extrémité d'un véhicule ferroviaire et relié au châssis principal par une articulation à pivot » (Le Petit Larousse illustré 1999)

faibles pour le trafic ferroviaire (63 dB) que pour le trafic routier (64 dB) (KÜRER 1993 selon OCDE 1997).

La gêne liée au bruit du trafic ferroviaire est dépendante non seulement du niveau sonore mais également du nombre de passage de train. Compte tenu du caractère intermittent du bruit émis par le trafic ferroviaire, la gêne ressentie est généralement inférieure à la gêne ressentie vis-à-vis du trafic routier dont le bruit est quasi-permanent (OCDE 1997; AUBREE 1960). Ainsi, plusieurs études à ce sujet dont celle de Walker et al. (WALKER FIELDS 1977) montrent qu'à un même niveau sonore le trafic ferroviaire est moins dérangeant que le trafic routier. De nombreuses recherches et publications sont consacrées à l'étude du bruit ferroviaire dont par exemple LUTZ 1981 et MÖHLER 1985.

La politique des transports, que ce soit en Suisse ou en Europe, s'engageant à transférer le trafic de marchandises de la route vers le rail, devrait permettre d'augmenter la part du rail dans les échanges. L'utilisation de voitures et de wagons de plus en plus silencieux devrait compenser une éventuelle augmentation des émissions sonores.

Les émissions sonores du trafic ferroviaire et routier ont un effet à leur proximité puis le bruit s'atténue lorsqu'on s'éloigne de la source. Considéré comme une source linéaire, le trafic peut être représenté « *comme une succession de sources ponctuelles positionnées sur une ligne* » (DUMONT TILLE 2000). Toutefois, alors que pour une source ponctuelle le niveau de bruit diminue de 6 dB(A) chaque fois que la distance à la source double, cette décroissance n'est que de 3 dB(A) dans le cas d'une source linéaire.

En zone de montagne la répercussion des ondes sonores peut entraîner des phénomènes d'échos. Ces conditions font que le niveau sonore à une certaine distance de la source est parfois plus élevé dans les vallées alpines que dans les plaines.

3.2.3.4. Evolution des émissions

L'adoption de valeurs limites (cf. 3.7.2) plus sévères au niveau de la Suisse et de l'Union Européenne encourage à rendre moins bruyants les véhicules.

Concernant le trafic routier, les améliorations techniques apportées aux véhicules permettent notamment de rendre les moteurs moins bruyants. L'apparition de nouveaux pneus et revêtements¹²⁶ plus silencieux permettent également de réduire le bruit provenant tant du moteur que du roulement. Lorsqu'une des composantes du bruit a pu être atténuée de manière à ce qu'elle soit couverte par l'autre, il n'est plus utile d'y apporter des améliorations techniques. Ainsi, les efforts se concentrent actuellement sur le bruit des moteurs en ce qui concerne les poids lourds et sur le bruit produit par le roulement en ce qui concerne les véhicules légers (OFEFP 2005).

Concernant le trafic ferroviaire, la priorité consiste à remplacer les freins à sabot en fonte par des freins à disques beaucoup plus silencieux. Cela permet de réduire les émissions d'environ 10 dB(A) (GAUTIER FODIMAN 2004).

Les mesures¹²⁷ prises à la source sont les plus intéressantes du point de vue de leur efficacité et de leur coût. Cela explique le fait qu'elles sont les premières à devoir être mises en œuvre.

Toutefois, bien que l'on s'efforce de réduire le bruit du moteur et du roulement, les résultats obtenus sont annihilés par l'accroissement du trafic routier et ferroviaire ainsi que par l'augmentation du poids maximal autorisé des poids lourds.

La mise en place progressive de protections acoustiques (ex. : paroi antibruit ; butte en terre) permet quant à elle d'empêcher la propagation du bruit en atténuant les émissions sonores de 3 à plus de 15 dB(A) suivant le type de train et d'écran (GAUTIER FODIMAN 2004).

¹²⁶ L'asphalte silencieux permet une réduction pouvant aller jusqu'à 8 dB.

¹²⁷ Concernant les principales mesures d'assainissement sonore cf. DUMONT TILLE 2000.

3.2.3.5. La gêne due au bruit et les effets sur la santé

Le bruit est avant tout synonyme d'impact sur la qualité de vie et sur la santé de la population. Ces effets, qui augmentent généralement parallèlement au niveau sonore, peuvent incommoder tant physiquement (physiologiquement), psychiquement, socialement qu'économiquement (VALLET et al.1983). Le Tableau 12 mentionne les principaux effets du bruit.

Effets physiologiques	Lésions auditives ¹²⁸ Troubles des fonctions végétatives Problèmes cardiovasculaires Augmentation de la pression sanguine Diminution de la profondeur du sommeil Maux de tête
Effets psychologiques	Gêne Stress, nervosité, tension Abattement Troubles de la communication Baisse de productivité Irritabilité Symptômes psychosomatiques
Effets sociaux	Difficultés de communication Jugement porté sur les autres Diminution de l'esprit d'entraide Agressivité Ségrégation sociale (ghettos de bruit)
Effets économiques	Niveau des loyers et des prix immobiliers Coûts de la protection contre le bruit Coûts de la santé Pertes de production Coûts de l'aménagement du territoire

Tableau 12 : Les principaux effets du bruit (OFEFP 2002b)

En Europe, le trafic routier, qui affecte entre 20 et 25% de la population, représente la principale source de gêne due au bruit. Le trafic ferroviaire quant à lui concerne de 2 à 4% des européens (LAMBERT 2003).

Il est relativement difficile de définir et encore plus de quantifier la gêne et le danger provoqué par un bruit. Les effets sur la santé sont parfois considérés séparément de la gêne mais les limites entre les deux sont floues. Généralement, les effets sur la santé comprennent les maladies, les perturbations du sommeil ou encore les troubles de la communication bien que ces derniers soient parfois associés à la gêne. La gêne intègre alors les réactions telles que l'agressivité, l'irritation ou encore la dépression (OMS 2000).

L'OMS donne la définition suivante de la gêne : « *La gêne peut se définir comme une sensation de désagrément, de déplaisir provoquée par un facteur de l'environnement (le bruit) dont l'individu (ou le groupe) connaît ou imagine le pouvoir d'affecter sa santé* ».

¹²⁸ Les lésions auditives sont provoquées par l'exposition permanente durant 24 heures à des niveaux de bruit dépassant 70 à 80 dB. Le bruit du trafic n'engendre quasiment pas de lésions auditives étant donné que personne ne séjourne à l'extérieur durant 24 heures.

Différents types de gêne peuvent être identifiés selon leur effets (gêne physiologique, psychologique, fonctionnelle) ou encore selon leur dimension temporelle (gêne instantanée, gêne de long terme). La plupart du temps les effets du bruit sont évalués à l'aide d'enquêtes relatives à la gêne exprimée par les riverains. Ces études révèlent que « *les personnes se sentent plus directement agressées par les nuisances sonores que par toute autre forme de pollution* » (OCDE 1997).

Le bruit a un impact non négligeable sur la santé. La réaction du corps au stress fait qu'il sécrète davantage d'hormones telles que l'adrénaline. Plusieurs études montrent les liens de cause à effet entre l'exposition au bruit (dès 70 dB(A) environ – OMS 2000) et la fréquence de maladies liées à l'hypertension et de maladies cardio-vasculaires ou maladies cardiaques ischémiques¹²⁹ (ex. : angine de poitrine, infarctus du myocarde). Une étude allemande a entrepris une évaluation quantitative des cas de décès consécutifs à un infarctus du myocarde provoqué par le bruit du trafic routier. Elle révèle qu'environ 2% des infarctus sont liés au bruit du trafic routier (ISING 2000). Le bruit provoquant souvent des troubles du sommeil, il est également à l'origine de fatigues chroniques accrues et de troubles liés à l'hypertension.

Les immissions sonores ont également un effet sur le plan psychique puisqu'elles compromettent le repos¹³⁰ (dès 30 dB(A) environ – OMS 2000), qu'elles perturbent la communication (dès 35 dB(A) environ - OMS 2000) et qu'elles provoquent parfois une baisse des capacités de compréhension, de concentration et d'assimilation principalement chez les enfants. Des réactions telles que l'irritation ou le mal-être ou encore des troubles de la santé mentale peuvent alors concerner certains individus soumis à des immissions excessives.

La Figure 7 donne un aperçu des troubles de la santé pouvant être causés par le bruit.

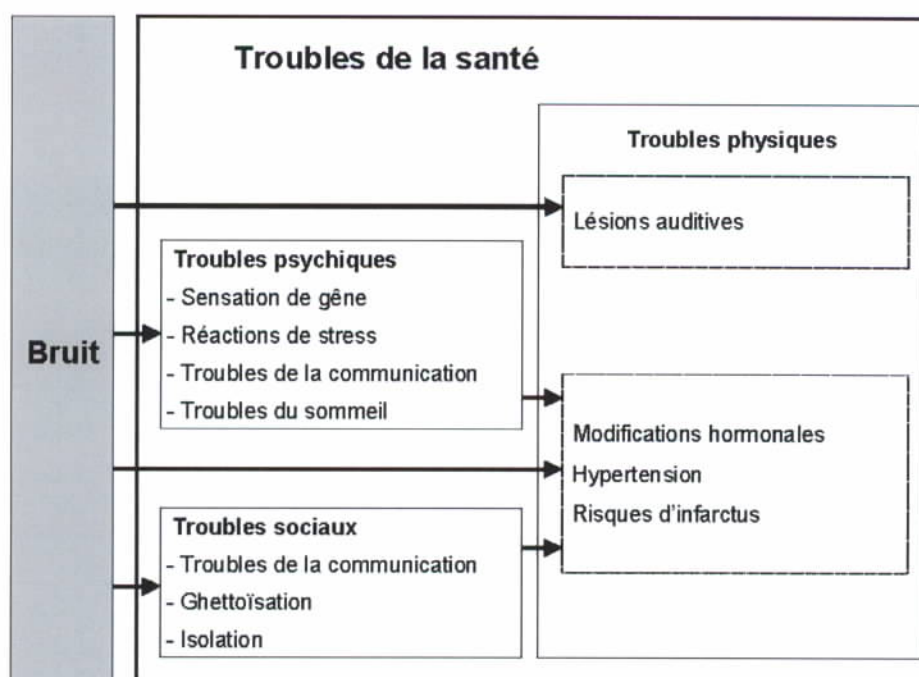


Figure 7 : Aperçu des troubles de la santé pouvant être causés par le bruit (OFEFP 2002b)

¹²⁹ Ischémie : « nom féminin, (gr. *iskhein*, arrêter et *haima*, sang), Diminution ou interruption de l'irrigation sanguine d'un organe, d'un tissu » (Le Petit Larousse illustré 1999).

¹³⁰ Les troubles du sommeil provoquent une altération des performances dans l'exécution de tâches cognitives.

La gêne ainsi que les perturbations du sommeil ont été le plus étudiés. Les résultats de plusieurs études montrent que les perturbations du sommeil et les troubles de la communication sont déterminants dans le cadre des atteintes à la santé. Les maladies graves telles que l'infarctus du myocarde semblent moins déterminantes. Cela est sans doute lié au fait que leur fréquence est moins importante ainsi qu'à la difficulté de déterminer et d'isoler le lien de cause à effet entre l'exposition à des immissions sonores et l'apparition de ces maladies.

Un ensemble important de publications sont consacrées à la gêne et aux atteintes à la santé dus au bruit du trafic (ex. : LAMBERT 2003; OFEFP 2002e; ARE 2005a ; OFEFP 2002d).

L'approche biologique des effets du bruit ne suffit pas, étant donné que la sensibilité au bruit varie en fonction des personnes. En effet, la production d'hormones de défense lorsque l'on est soumis à un stress est plus ou moins importante suivant les personnes¹³¹. Selon Marcel-André Boillat¹³², il faut pour cette raison « *absolument tenir compte des études épidémiologiques, qui examinent les rapports entre les maladies et les facteurs susceptibles d'influencer leur fréquence, leur évolution ou leur distribution* » (ATE 2004). Toutefois, d'une manière générale depuis 1992, une augmentation des troubles subjectifs ressentis au sein de la population est observée (MfE ISDE 2002). En Suisse, 43% des personnes se sont déclarées être gênées partiellement ou fortement par le bruit à leur domicile lors d'une enquête sur la santé menée en 1997 (OFS 1999). Le trafic s'est avéré être le premier facteur de gêne lié au bruit.

Les corrélations entre les niveaux d'exposition au bruit et la gêne exprimée s'avérant relativement faibles, il est essentiel de comprendre les jugements et les attitudes individuelles par rapport au bruit afin de comprendre la relation entre le bruit et la gêne (LAMBERT 2003). Les facteurs d'attitude peuvent, par exemple être l'image positive du train (progrès, « écologique ») ou l'image négative des poids lourds synonyme de pollution, ou encore la gêne accrue exprimée par les riverains vis-à-vis du trafic qui transite par leur région. L'attitude est un facteur d'autant plus important que les personnes souffrant du bruit semblent sensibilisées aux autres nuisances telles que la pollution de l'air (KÜRER 1993).

La gêne provoquée par plusieurs sources de bruit telles que le trafic routier et le trafic ferroviaire est récemment étudiée. Les travaux menés par l'INRETS et la SNCF révèlent que la gêne totale dépend généralement du bruit de la source dominante. Ainsi, sur une journée de 24 heures la gêne totale dépend de la gêne provoquée par le trafic routier de jour et de la gêne provoquée par le trafic ferroviaire de nuit en tenant compte du fait que celle de nuit contribue dans une plus faible mesure à la gêne sur 24 heures que la gêne de jour (LAMBERT 2003). Selon Ising (ISING 2000), il semble que les émissions sonores et les émissions polluantes des poids lourds provoquent des atteintes à la santé d'un même ordre de grandeur durant la journée. Par contre, la nuit, les atteintes dues au bruit sont supérieures.

3.2.4. La congestion

La congestion peut être définie comme une situation dans laquelle les utilisateurs d'un mode de transport ne peuvent se déplacer de manière habituelle ou bien comme ils le souhaitent. Certains obstacles tels que la surcharge de trafic par rapport à la capacité de l'infrastructure, la

¹³¹ Les enfants sont particulièrement sensibles au bruit qui peut diminuer leur capacité de compréhension, de concentration ainsi que d'assimilation. Les personnes atteintes de maladies particulières ou présentant des problèmes médicaux tels que l'hypertension ou encore les personnes souffrant d'un déficit auditif sont plus sensibles au bruit que les personnes en bonne santé.

¹³² Professeur à l'Institut universitaire romand de Santé au Travail (IST).

manière de conduire, les accidents ou encore les travaux, obligent l'utilisateur à se déplacer plus lentement que dans une situation normale. La congestion s'apparente à une perte de temps pour l'utilisateur.

Selon certains auteurs (BEUTHE et al. 2002 ; GREEN et al. 1997), la congestion ne peut pas être considérée comme une externalité au sens strict du terme. Concernant avant tout l'utilisateur, elle est considérée comme interne au système. A l'origine de l'inefficacité du système, la congestion entraîne non seulement une perte de temps mais aussi indirectement du stress et de l'anxiété.

Toutefois, en perturbant les échanges économiques, la congestion peut avoir un impact tant à une échelle globale (européenne, nationale) qu'à l'échelle régionale ou locale. Elle peut également avoir un impact au niveau local par le biais de l'augmentation de la pollution sonore et atmosphérique. Par conséquent, la congestion, comme toute autre externalité, est d'autant bien moins acceptée par les habitants des régions traversées qu'elle est principalement induite par du trafic de transit.

Bien qu'il soit possible de parler de congestion ferroviaire¹³³, la congestion concerne généralement uniquement le transport routier : « *Etant donné l'approche économique du bien-être, les coûts de congestion apparaissent par définition seulement pour les modes où un seul utilisateur décide de l'utilisation qu'il fait de l'infrastructure* » (INFRAS IWW 2004a).

La congestion routière résulte des lois d'écoulement du trafic. Ainsi, selon Quinet (QUINET 1998), la congestion se compose des paramètres suivants :

$D = Q/V$	V : vitesse / longueur parcourue par unité de temps
	Q : débit / nombre de véhicule passant en un point donné par unité de temps
	D : densité / nombre de véhicules sur une longueur unité de voie

3.2.5. L'insécurité

L'insécurité est synonyme de risque. En effet, il y a insécurité dès lors qu'une probabilité d'accident ou de catastrophe existe. Dans le domaine des transports, le risque d'accident tel qu'il est défini dans le paragraphe suivant concerne uniquement le transport des marchandises considérées comme dangereuses.

Le risque d'accident dépend avant tout du mode de transport. Ainsi, le système de transport ferroviaire, guidé en site propre et ayant un système de sécurité rétroactif sur les véhicules, présente beaucoup moins de risque que le transport routier. La probabilité d'accident du transport ferroviaire est généralement considérée comme nulle (INFRAS IWW 2004a). Le transport routier, quant à lui, présente un risque variable en fonction du type de route, de la composition du trafic, du moment de la journée, des conditions météorologiques, de la vitesse, des catégories de véhicules et du nombre de véhicules impliqués.

L'accident tel qu'on l'entend ici peut être défini comme « *tout évènement fortuit, imprévisible dans le temps, pouvant affecter sensiblement l'environnement et susceptible de créer des émissions importantes* » (HERTIG 1999). L'échappement de substances toxiques ou inflammables, provoqué par une collision ou par tout autre événement se produisant sur une infrastructure de transport¹³⁴, peut être à l'origine d'un accident. Les conséquences écologiques et économiques d'un accident sont très variables selon le lieu, qui est plus ou

¹³³ « La congestion ferroviaire se traduit par des décalages d'horaires beaucoup plus que par des suppléments de temps de trajets. Un train lent occupe une capacité considérable. Elle se produit au voisinage des villes, surtout aux heures de pointe, lorsque se mélangent des circulations dont les vitesses sont très différentes. » (QUINET 1998)

¹³⁴ Accident impliquant des poids lourds, déraillement de train, etc.

moins sensible¹³⁵ au polluant déversé ou émis, ainsi que la nature du produit. En fonction de ses conséquences et de sa probabilité d'apparition, une distinction est faite entre un accident au sens strict du terme et un accident majeur¹³⁶ ou catastrophe. Ce dernier peut être défini comme « *un accident ayant des conséquences exceptionnellement graves¹³⁷ et dont la probabilité d'apparition est notablement plus faible que celle d'un accident* » (HERTIG 1999).

Ces accidents, qui affectent les milieux naturels vitaux et qui peuvent donc être considérés comme des impacts sur l'environnement au sens strict du terme se distinguent des accidents de la circulation au sens général du terme. En effet, tous les accidents de la circulation ne sont pas à l'origine d'un accident tel que défini au paragraphe précédent. En effet, les accidents impliquant uniquement des véhicules transportant des personnes n'ont pas un impact direct sur un milieu naturel mais ont, comme la congestion, un impact sur la qualité de vie.

3.3. Les Alpes

3.3.1. Définitions et délimitations

Les Alpes, d'une longueur de 1200 kilomètres de Nice à Vienne, sont de loin le plus grand massif de l'Europe. La chaîne de montagne, partagée entre l'Allemagne, l'Autriche, la France, l'Italie, le Liechtenstein, la Slovénie et la Suisse, se déploie en un arc d'une largeur allant de 120 à 150 kilomètres (KNAFOU 1994).

Le relief, mis en place durant le Tertiaire, a été façonné tout au long du Quaternaire par une succession de périodes glaciaires. Les vallées profondes (Rhône et Rhin, Isère, Inn, Enns, Drave, Adige) élargies par les glaciers sont les premiers espaces à avoir été habités et aménagés.

Dès le Néolithique, le développement des échanges commerciaux (étain, cuivre, sel, fer) est à l'origine des premiers axes transalpins¹³⁸. Les routes alpines sont aménagées dès le XVIII^{ème} siècle et, dès le milieu du XIX^{ème} apparaissent les premières lignes ferroviaires¹³⁹.

Actuellement, 14 passages routiers et 8 passages ferroviaires permettent de franchir l'arc alpin qui s'étend de Vintimille à Vienne (cf. Tableau 13).

¹³⁵ Un cours d'eau à faible débit, un cours d'eau d'intérêt piscicole ou encore une zone de captage d'eau potable sont des milieux particulièrement sensibles.

¹³⁶ « Dans la littérature spécialisée et dans la législation, le terme accident majeur est préféré à celui de catastrophe. » (HERTIG 1999). Selon l'article 2 de l'OPAM (OPAM 1991) « est réputé accident majeur tout événement extraordinaire qui survient dans une entreprise ou sur une voie de communication et qui a des conséquences graves : a) hors de l'aire d'entreprise b) sur la voie de communication elle-même ou en dehors de celle-ci. »

¹³⁷ De par la nature du produit rejeté, l'intensité de l'émission et le degré d'endommagement de l'environnement (notamment le nombre de personnes concernées).

¹³⁸ Les voies passant par le Petit-Saint-Bernard, le Montgenèvre, la côte méditerranéenne puis le Genève, le Cenis et le Simplon.

¹³⁹ Fréjus, Semmering, Brenner, Saint-Gothard, Simplon.

Passages routiers :		Passages ferroviaires :	
Passage de Vintimille	FR - IT	Tunnel du Col de Tende	FR - IT
Col de Tende	FR - IT	<i>Tunnel du Mont-Cenis</i>	<i>FR - IT</i>
Col du Montgenèvre	FR - IT	<i>Tunnel du Lötschberg et du Simplon</i>	<i>CH - IT</i>
Col de Larche	FR - IT	<i>Tunnel du Gothard</i>	<i>CH - IT</i>
<i>Col du Mont-Cenis</i>	<i>FR - IT</i>	<i>Col du Brenner</i>	<i>AUT - IT</i>
<i>Tunnel du Fréjus</i>	<i>FR - IT</i>	Tunnel du Tauern	AUT - IT
<i>Tunnel du Mont-Blanc</i>	<i>FR - IT</i>	Tunnel du Karawanken	AUT - SLO
<i>Tunnel du Grand-Saint-Bernard</i>	<i>CH - IT</i>		
<i>Tunnel du Saint Gothard</i>	<i>CH - IT</i>		
<i>Tunnel du San Bernardino</i>	<i>CH - IT</i>		
<i>Col du Brenner</i>	<i>AUT - IT</i>		
<i>Col de Reschen</i>	<i>AUT - IT</i>		
Tunnel du Felbertauern	AUT - IT		
Tunnels du Tauern et du Katschberg	AUT - IT		
Tunnel de l'Arlberg	AUT - IT		
Tunnel du Karawanken	AUT - SLO		

Légende : FR (France), IT (Italie), CH (Suisse), AUT (Autriche), SLO (Slovénie)
« segment alpin »

Tableau 13 : Les principaux passages routiers et ferroviaires à travers les Alpes

La problématique des transports amène à distinguer l'arc alpin du « segment alpin ». Au sein de ce dernier, qui s'étend du Mont-Cenis/Fréjus au Brenner, on observe une concurrence interne en terme de choix d'itinéraires routiers ainsi qu'une concentration des grands projets d'infrastructure ferroviaire. De plus, ce segment regroupe les passages les plus attractifs pour les flux majoritaires nord-sud. Le « segment alpin » compte 8 passages routiers et 4 passages ferroviaires (cf. Figure 8).

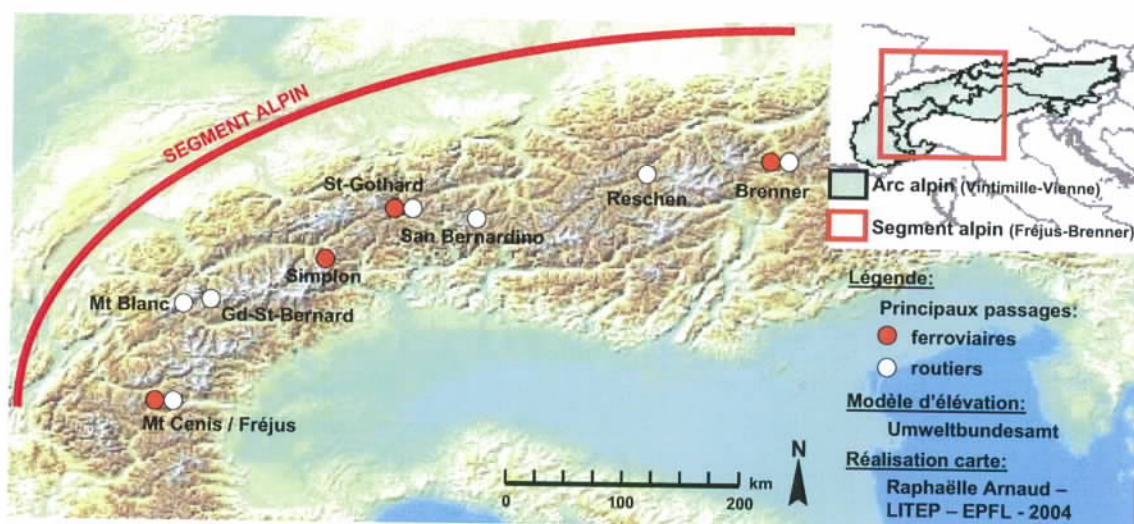


Figure 8 : Le « segment alpin »

3.3.2. Une barrière entre le nord et le sud de l'Europe de l'Ouest

A l'échelle de l'Europe, les Alpes représentent une « barrière » entre le nord et le sud de l'Europe et, plus précisément, « *entre deux des ensembles régionaux les plus densément peuplés, les plus actifs et les plus riches du continent* » (KNAFOU 1994). Ce massif montagneux, situé au centre des échanges commerciaux européens, est difficile à franchir compte tenu de sa topographie. Son franchissement exige l'aménagement d'infrastructures routière et ferroviaire ainsi que la construction d'importants ouvrages d'art dans les vallées les plus accessibles.

Aménagés dès le XVIII^{ème} siècle, les passages transalpins ne cessent d'être améliorés et de se multiplier. Actuellement, deux tunnels ferroviaires de base¹⁴⁰ sont en construction, le Lötschberg – Simplon et le Saint Gothard. Ces Nouvelles Liaisons Ferroviaires Alpines (NLFA) devraient être achevées d'ici 2007 (Lötschberg – Simplon) et 2015 (Saint Gothard).

3.4. Le trafic transalpin de marchandises

3.4.1. L'évolution du trafic transalpin de marchandises («segment alpin»)

Les Alpes, qui se situent au cœur du réseau ferroviaire et routier européen (cf. Figure 9), sont fortement concernées par l'évolution du trafic au niveau européen. Depuis la croissance économique des années soixante, le trafic a connu une croissance sans précédent tant en ce qui concerne le transport de personnes que de marchandises (CEMT 1990 selon RATTI RUDEL 1993).

¹⁴⁰ Alors que les cols culminent à une altitude d'environ 1300 – 2500 mètres et que les tunnels de crête se situent à une altitude d'environ 1100 – 1600 mètres, les tunnels de base sont compris entre 500 – 700 mètres d'altitude environ.



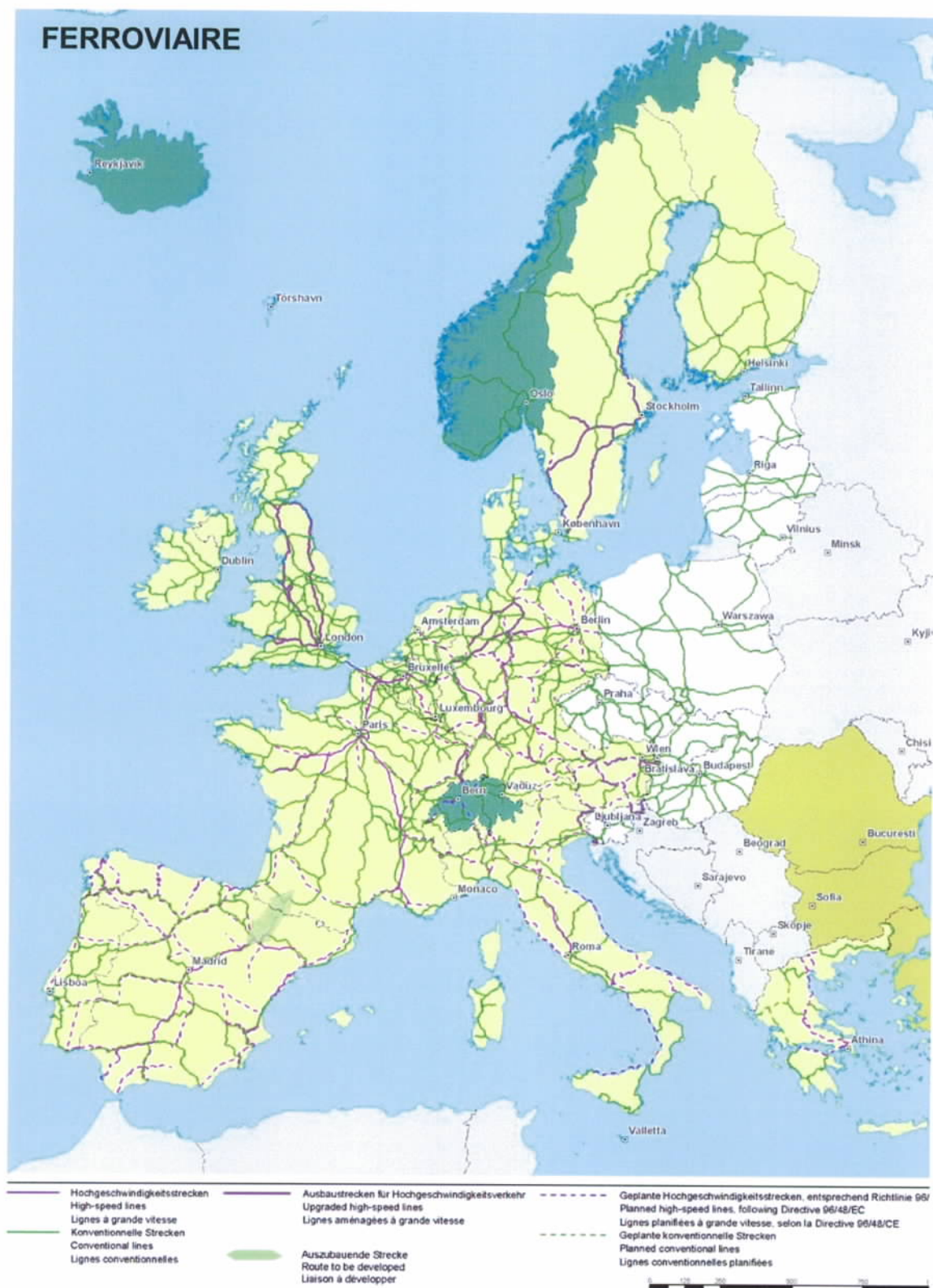


Figure 9 : Réseaux transeuropéens routier et ferroviaire (Source : Commission européenne)

Durant les trente dernières années, le trafic de marchandises dans les pays de l'Union Européenne (Union Européenne-15) a fortement augmenté (cf. 1.1.1). Cette croissance concerne principalement le transport routier. Ce dernier a triplé sa part modale dans le transport de marchandises passant de 48 à 73 % face à un chemin de fer en perte de compétitivité.

Le trafic transalpin de marchandises, comme le trafic européen, ne cesse de croître depuis plusieurs décennies et ceci de façon linéaire sur le long terme (CLEMENT 2004). Selon plusieurs estimations, cette croissance devrait se poursuivre durant les années à venir et passer de 110 millions de tonnes transportées en 2004 à environ 130 ou 160 millions de tonnes en 2015 (Figure 10).

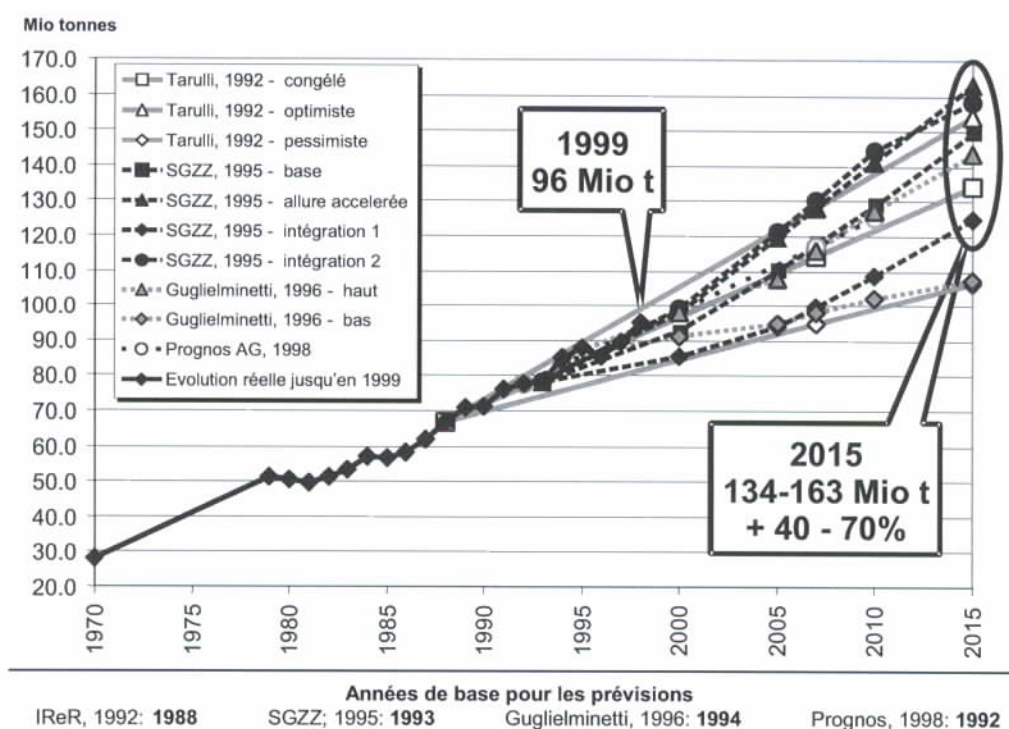


Figure 10 : Prévisions du trafic transalpin de marchandises (RIVIER 2006)

En Suisse, selon une étude de l'Office fédéral du développement territorial (CIPRA 2004b), la le trafic de marchandises devrait continuer de croître au cours des trente prochaines années. Cette croissance devrait concerner principalement le trafic de transit.

Le trafic routier transalpin de marchandises tend, par rapport à l'année de référence (2000), à reculer en ce qui concerne le nombre de courses et à augmenter en ce qui concerne le tonnage transporté. Cela est en grande partie dû à l'introduction de la Redevance sur le trafic des Poids Lourds liée aux Prestations (RPLP) qui incite à un meilleur chargement des véhicules. Après la prochaine augmentation de cette redevance et la mise en service du tunnel de base du Lötschberg il est probable que les courses à travers les Alpes augmentent à nouveau (CONSEIL FEDERAL AUX COMMISSIONS PARLEMENTAIRES 2004 ; ARE 2001b).

L'évolution ainsi que les spécificités du trafic transalpin de même que la sensibilité particulière des Alpes peuvent rendre cette situation particulièrement préoccupante.

3.4.2. La polarisation des flux

Le nombre restreint de passages dicté par la topographie (vallées, cols, tunnels) est à l'origine de la logique naturelle de polarisation des flux.

Les flux, dispersés en amont et en aval des Alpes, se concentrent ensuite dans quelques vallées afin d'atteindre un col ou un tunnel. Ces itinéraires d'accès tendent à être surchargés¹⁴¹.

La Figure 11 donne une représentation de la dispersion des flux européens à travers les Alpes. Ces flux se concentrent progressivement en arrivant vers les Alpes.

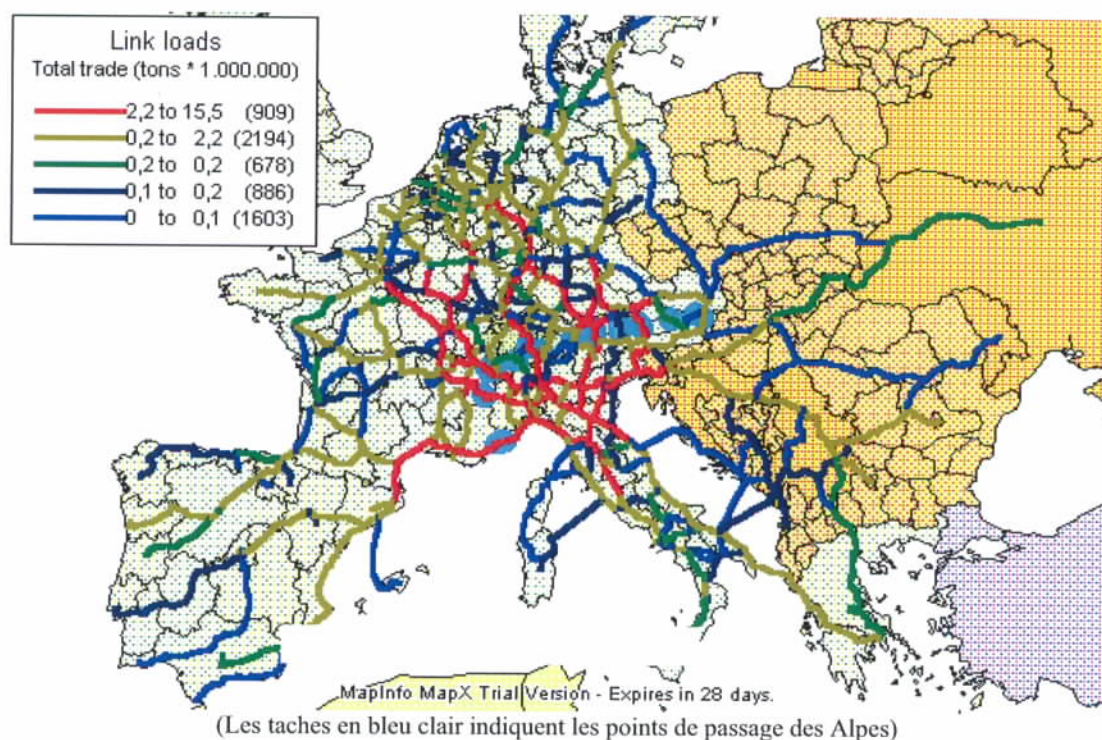


Figure 11 : Dispersion des flux transalpins en Europe (base de données ATIS ; TARDIEU 2003)

Actuellement, ce sont principalement des tunnels ainsi que quelques principaux cols qui sont empruntés régulièrement par le trafic transalpin de marchandises. La construction de tunnels de base permet de concentrer le trafic le plus en amont possible et ainsi d'éviter une concentration trop importante du trafic dans certaines vallées alpines.

3.4.3. L'évolution de la répartition spatiale et modale des flux

En 2004, 195 millions de tonnes ont été transportées à travers l'arc alpin. Ce trafic se concentre en majeure partie sur le « segment alpin ». En effet, 56%, soit 110 millions de tonnes, ont transité par un itinéraire du « segment alpin ». L'ensemble des données présentées

¹⁴¹ La croissance du trafic de marchandises et les goulets d'étranglement de capacité au niveau des tunnels routiers sont synonymes d'insécurité notamment les incendies dans les tunnels routiers du Mont-Blanc (24 mars 1999 / France), du Gothard (24 octobre 2001 / Suisse) et du Tauern (29 mai 1999 / Autriche).

ci-après concerne le « segment alpin »¹⁴². Le trafic transalpin transitant par la Suisse, la France et l'Autriche a l'Italie pour origine ou destination.

La répartition spatiale du trafic transalpin de marchandises entre la Suisse, la France et l'Autriche, varie fortement selon les mesures prises au niveau européen ou national.

Ainsi, jusqu'en 1998, la France présentait les tonnages routier et ferroviaire en transit à travers les Alpes les plus importants. Les années qui suivirent, la croissance du trafic en France a été plus faible tandis que les trafics transitant par la Suisse et surtout par l'Autriche ont cru de manière significative. En 2004, c'est l'Autriche qui est concernée par les tonnages les plus importants parmi les trois pays alpins (cf. Figure 12). Des disparités au sujet de la croissance du trafic de marchandises et, par conséquent, la modification de la répartition spatiale des tonnages routier et ferroviaire en transit à travers les Alpes sont observées principalement depuis 1994.

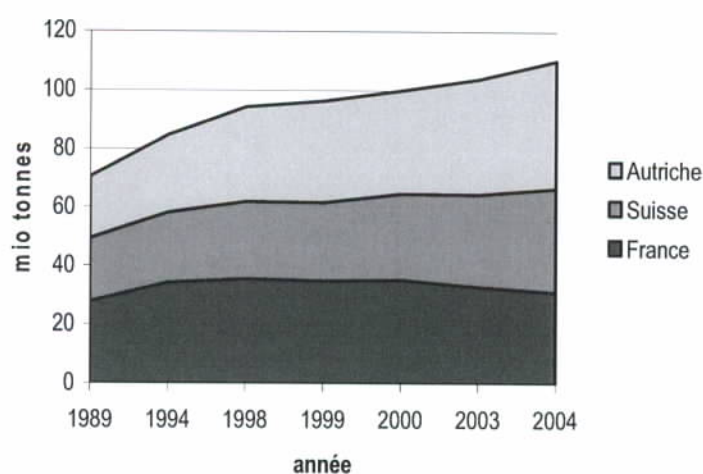


Figure 12 : Evolution du trafic transalpin de marchandises (routier et ferroviaire / Autriche ; Suisse ; France / Source : ARE)

La répartition des trafics entre les différents passages est influencée par de nombreux événements. Ainsi, le transfert d'une partie des tonnages de la France vers la Suisse et l'Autriche peut notamment être expliqué par la réunification de l'Allemagne (1989), par l'entrée de l'Autriche dans l'Union Européenne (1995) ainsi que par l'autorisation des poids lourds de plus de 28 tonnes en Suisse (2001). L'interdiction de circuler la nuit ainsi que la mise en place de la RPLP en Suisse de même que le système des écopoints en Autriche, sont susceptibles d'être à l'origine d'un transfert du trafic de marchandises de ces deux pays vers la France. Cela s'observe au tunnel routier du Mont Blanc où environ 30% du trafic de marchandises transite entre 20 heures et 5 heures, période durant laquelle les poids lourds ne peuvent traverser la Suisse (CLEMENT 2004).

« La réduction des capacités d'un passage alpin est en premier lieu compensée par des transferts vers des passages appropriés dans le même pays » (Conseil fédéral aux commissions parlementaires 2004). Cela a notamment été observé lors de la fermeture temporaire du tunnel du Mont Blanc et du tunnel du Saint Gothard. En effet, dans le premier cas, le trafic routier a été transféré sur le tunnel du Fréjus et dans le second cas, la majorité du trafic routier s'est reportée sur le tunnel du San Bernardino et dans une moindre proportion vers le Brenner. Ainsi, selon le rapport du Conseil fédéral suisse aux commissions

¹⁴² Ces données sont également disponibles pour l'arc alpin.

parlementaires, « *il n'est pas surprenant de remarquer que l'interaction entre les « grands » passages alpins est faible* » et que les grands détours sont évités.

L'évolution de la répartition des trafics au sein du « segment alpin » reflète parfois « *la dynamique macro-économique des régions européennes que ces points de passage relient ou qui sont situées dans leur influence* » (CLEMENT 2004).

La répartition de ce trafic entre les deux principaux modes de transport terrestre a également fortement évolué au cours des vingt dernières années. En effet, le chemin de fer, qui dominait dans le transport transalpin de marchandises en terme de tonnages transportés jusqu'au milieu des années quatre-vingt, a progressivement décliné face au transport routier. Dès lors, le transport routier n'a cessé de croître plus vite que le transport ferroviaire, creusant un écart de plus en plus important dans la participation de ces deux modes de transport au trafic transalpin de marchandises (cf. Figure 13).

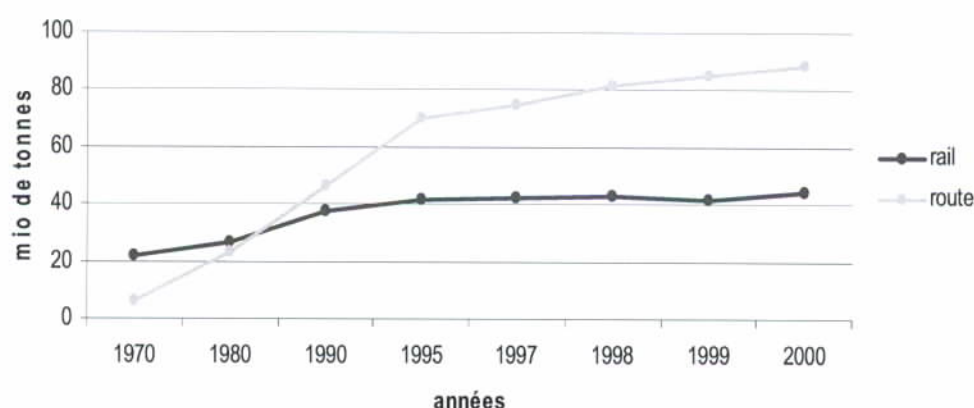


Figure 13 : Evolution du trafic transalpin de marchandises selon les différents modes (Autriche ; Suisse ; France / Source : LITRA)

Toutefois, la part du rail dans le trafic marchandises total à travers le « segment alpin » est très variable selon les pays. Bien qu'elle ait légèrement diminué durant les deux dernières décennies, la part du rail reste relativement élevée en Suisse par rapport aux deux autres pays alpins (cf. Figure 14). Cette importante participation du chemin de fer dans le transport de marchandises s'explique principalement par la politique suisse menée en faveur du transport ferroviaire. La décroissance de la part du rail tend actuellement à se stabiliser.

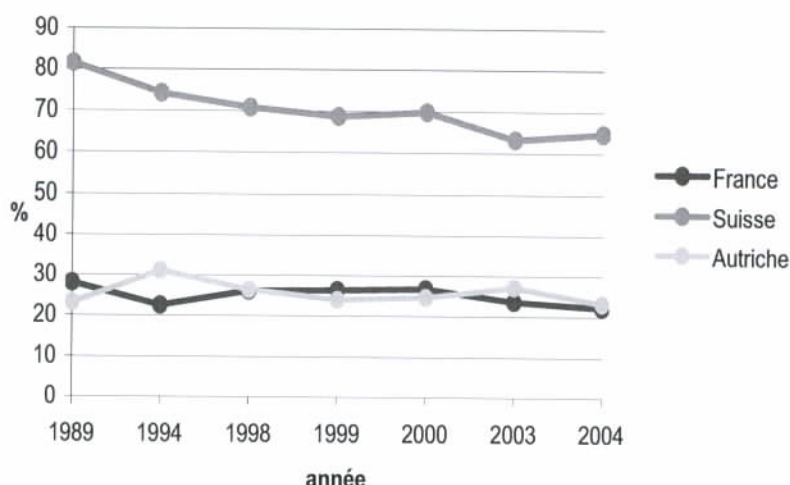


Figure 14 : Evolution de la part du rail dans le trafic transalpin de marchandises selon les différents pays alpins (Source : ARE)

L'observation de la répartition spatiale et modale du trafic transalpin de marchandises montre que les tonnages transportés sont relativement bien répartis dans les différents pays (un tiers des tonnages par pays). Par contre, la répartition modale du trafic transalpin de marchandises montre quant à elle de grandes divergences entre les pays dont les politiques et les mesures tendent progressivement à être harmonisées au sein de l'Union Européenne. Ces divergences sont susceptibles d'avoir un impact non négligeable lorsque les nuisances telles que le bruit ou la pollution atmosphérique sont considérées. En effet, la participation beaucoup plus importante du trafic routier en France et en Autriche par rapport à la Suisse est préoccupante. Elle est d'autant plus préoccupante que le trafic routier transitant par l'Autriche croît de manière significative (cf. Figure 15). L'évolution du trafic en termes de nombre de poids lourds marchandises est également impressionnante. En 1989, environ 3 millions de poids lourds transitaient par le « segment alpin ». Ce chiffre est proche de 5 millions en 2004.

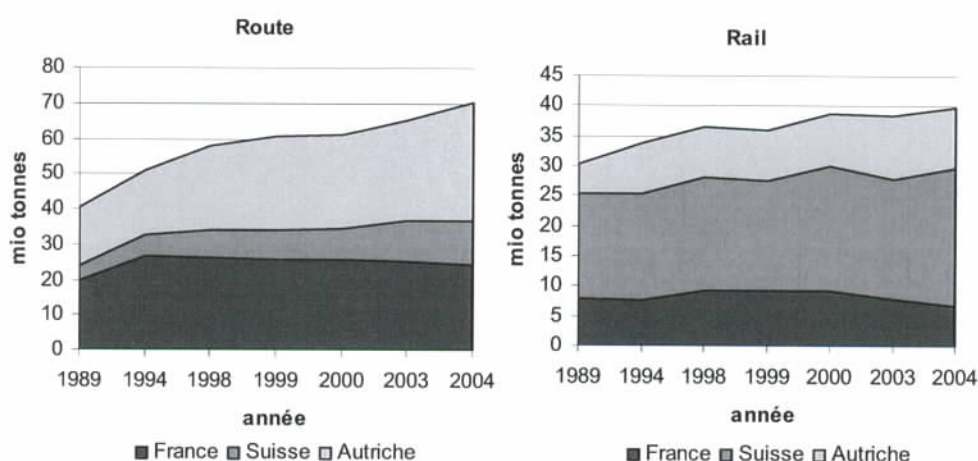
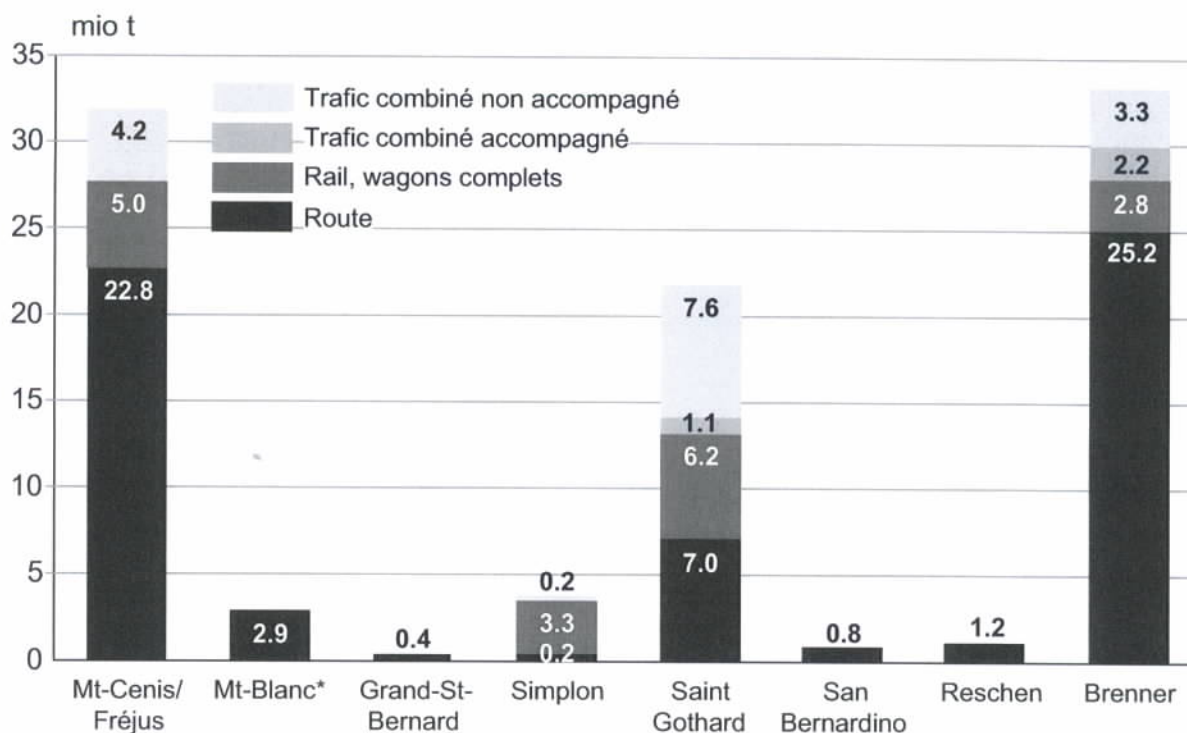


Figure 15 : Evolution des trafics routier et ferroviaire transalpins de marchandises (Autriche ; Suisse ; France / Source : ARE)

Une observation des données du trafic transalpin de marchandises à l'échelle des différents passages alpins, montre que la répartition spatiale des flux de trafic au sein des différents pays est très hétérogène puisque le trafic se concentre principalement sur un passage alpin, à savoir le Mt-Cenis/Fréjus pour la France, le Gothard pour la Suisse et enfin le Brenner pour l'Autriche (cf. Figure 16).



* Tunnel du Mt-Blanc fermé depuis le 24 mars 1999 suite à un incendie

Figure 16 : Trafic transalpin de marchandises selon les différents passages alpins en 1999 (Source : ARE)

3.4.4. Une zone particulièrement sensible

La région alpine est considérée comme une zone sensible. Par sensible, on entend une zone qui peut être « *facilement affectée par la moindre action ou agression extérieure* »¹⁴³. La sensibilité pouvant être définie comme « *la propriété de tous les êtres vivants d'être informé des modifications du milieu et d'y réagir de façon appropriée* » ou encore comme « *l'aptitude à réagir rapidement à un contact* », l'hypothèse selon laquelle la sensibilité existe indépendamment de facteurs exogènes est admise. Ainsi, la notion de sensibilité permet de traduire le risque de transmission d'une perturbation entre un élément perturbateur (le trafic et indirectement ses nuisances) et un élément susceptible d'être exposé à cette perturbation (les Alpes et indirectement ses différents récepteurs).

La reconnaissance officielle de la sensibilité des zones de montagne date des années quatre-vingt-dix. C'est la déclaration de Vienne de 1997 qui reconnaît l'importance de la protection des zones dites sensibles. Les zones sensibles sont « *les zones dont les écosystèmes sont particulièrement sensibles, où les conditions géographiques et la topographie risquent*

¹⁴³ Le Petit Larousse illustré (1999) et le Petit Robert 1 (1987)

d'accroître la pollution et le bruit ou dans lesquelles il existe des ressources naturelles ou un patrimoine culturel uniques » (cf. 1.1.5.1).

La définition des zones sensibles repose sur la connaissance de l'environnement local. De ce fait, la sensibilité de la région alpine au trafic est principalement liée à l'habitat et aux caractéristiques topographiques et climatiques de cet espace.

Compte tenu de la topographie, le nombre de passages permettant de franchir les Alpes sont relativement restreints. La logique naturelle de polarisation des flux est à l'origine d'une concentration des nuisances sonores et atmosphériques induites par le trafic routier et ferroviaire et d'un risque de surcharge de ces itinéraires. De plus, le franchissement de barrières naturelles telles que le massif alpin est également synonyme d'augmentation de la consommation énergétique et, par conséquent, de la production de polluants du fait de la traction de charges sur des infrastructures de transport présentant une forte déclivité.

Les vallées, formant une dépression dans une zone de relief, présentent des conditions de dispersion des polluants atmosphériques et sonores défavorables. Les échanges plus limités entre les masses d'air (canalisation des vents dans les vallées, fréquentes inversions thermiques¹⁴⁴) et le profil des versants sont à l'origine d'une concentration plus importante de polluants atmosphérique et sonore¹⁴⁵ dans les vallées. Ainsi, par exemple, le bruit, qui diminue normalement à mesure que l'on s'éloigne de l'infrastructure routière ou ferroviaire, ne diminue plus à partir d'une distance de 50 mètres en cas d'inversion thermique (Figure 17).

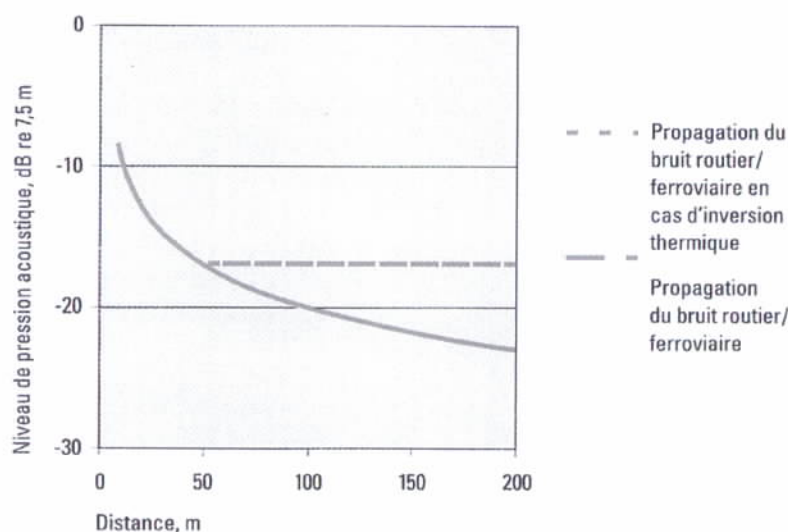


Figure 17 : Propagation du bruit en cas d'inversion thermique (INITIATIVE DES ALPES 2002)

La sensibilité des vallées alpines est d'autant plus importante du fait que la population s'y concentre, de même que de nombreux aménagements ou activités (agriculture, entreprises, infrastructure, etc.), compte tenu de l'exiguïté de l'espace habité en permanence dans les régions de montagne. Ainsi, la population n'a souvent pas la possibilité d'échapper à la pollution. De plus, l'important trafic transalpin empruntant ces vallées est d'autant moins bien

¹⁴⁴ Les inversions thermiques, caractéristiques météorologiques des régions de relief, apparaissent lorsque le rayonnement solaire à l'origine du brassage des couches d'air proches du sol fait défaut (hiver, nuit). La couche d'air froid, formée par le refroidissement du sol, reste stable sous la couche d'air chaud et, prises au piège les émissions polluantes ne peuvent s'évacuer vers le haut et s'accumulent dans le fond de la vallée.

¹⁴⁵ La propagation des émissions sonores favorisée par les inversions thermiques l'est également par la déclivité des versants. En effet, le son ne rencontrant pas d'obstacle est libre de se propager allant jusqu'à générer des phénomènes d'écho (INITIATIVE DES ALPES 2002 ; KURZE 2001).

accepté par les habitants des régions traversées puisqu'il ne fait que transiter et n'apporte donc rien à la région.

Le passage de poids lourds qui se concentre dans certaines vallées, est à l'origine de nombreuses manifestations impliquant les riverains ainsi que des associations voire des ONG¹⁴⁶ militant en faveur d'une diminution du trafic routier¹⁴⁷. La pression exercée par ces organisations ne laisse pas indifférents les politiques qui tentent désormais de prendre des mesures à cet égard. A ce sujet nous pouvons citer l'exemple de la Suisse qui, en introduisant dans la Constitution fédérale l'article sur la protection des Alpes, oblige le Conseil fédéral à trouver une solution pour diminuer le trafic de poids lourds à travers les Alpes. Précisons qu'il mentionne également le principe de non-discrimination entre les régions. Les Alpes sont devenues un territoire privilégié pour la mise en œuvre d'une politique de développement durable.

3.5. Le concept du développement durable

3.5.1. Origine et évolution du concept

La réflexion sur la relation entre les activités humaines et les écosystèmes n'est pas récente mais ce n'est toutefois que dès le milieu du XX^{ème} siècle que l'idée d'une croissance illimitée est remise en cause. Cette prise de conscience que l'on vit dans un monde « fini » est à l'origine de l'avènement du concept de développement durable qui s'est progressivement construit au cours des trois dernières décennies du XX^{ème} siècle.

Les effets négatifs de la croissance sur l'environnement sont mis en évidence dès les années 50/60. Les éléments environnementaux devenant des ressources fragiles et épuisables, la nécessité de réconcilier l'économie et l'écologie apparaît comme capitale. Cette dernière fera l'objet d'un premier Rapport sur l'Etat de l'Environnement dans le Monde publié en 1951 par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN 1951).

Dès les années 60, le Club de Rome¹⁴⁸ participe à cette prise de conscience en dénonçant « *le danger que représente une croissance économique et démographique exponentielle du point de vue de l'épuisement des ressources, de la population et de la surexploitation des systèmes naturels* »¹⁴⁹. Une dizaine d'années plus tard, les dimensions environnementale et sociale des effets externes seront envisagées par le Club de Rome qui publiera le rapport « Halte à la croissance ? Rapports sur les limites de la croissance » en 1972 (DELAUNAY MEADOWS et al. 1973). Ce rapport démontre que la destruction de l'environnement progresse rapidement. Il propose une politique supranationale contre la croissance démographique, le gâchis de matières premières, la destruction de l'environnement, etc. Il représente la première véritable rencontre de l'économie et de l'écologie.

La même année, la Déclaration de la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement, adoptée à Stockholm le 16 juin 1972, reconnaît que la protection de l'environnement et la gestion efficace des ressources naturelles sont des questions majeures qui affectent le bien être des populations et le développement économique dans le monde entier¹⁵⁰. Cette conférence est à l'origine de la création du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE),

¹⁴⁶ Organisation Non Gouvernementale

¹⁴⁷ « Alpine transport policy: a regional problem with European consequences or an European problem with regional consequences? », Workshop on Trans-Alpine Crossing, ALPNET, 27-28 May 2002, Lago Maggiore, Italy

¹⁴⁸ Le Club de Rome est un groupe d'experts internationaux qui ont mis en évidence les effets négatifs de la croissance au début des années 70. A l'origine de plusieurs rapports (Halte à la croissance, Stratégie pour demain, Nouvel ordre économique mondial) ces experts ont notamment mis l'accent sur les limites des ressources écologiques, sur les moyens du développement des pays et sur les inégalités sociales dans le monde.

¹⁴⁹ *Historique de développement durable*, Futura sciences, août 2002

¹⁵⁰ Naissance de la notion d'« éco-développement »

complément du Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD). Progressivement, l'idée d'un développement qui ne soit pas uniquement guidé par des considérations économiques mais également par des exigences écologiques et sociales introduit un nouveau modèle économique compatible avec la prudence écologique et l'équité sociale.

La nécessité de placer les problèmes environnementaux au rang des préoccupations internationales est accentuée par le fait que le public découvre les problèmes planétaires tels que les marées noires, la dégradation de la couche d'ozone, les pluies acides, l'effet de serre ou encore la déforestation et la désertification.

La première utilisation du terme « sustainable development » date de 1980. Il a été utilisé lors du congrès de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature : *« pour que le développement soit durable, il doit prendre en considération des facteurs sociaux et écologiques ainsi que des facteurs économiques, la base des ressources vivantes et non vivantes et les avantages et les inconvénients à long et à court termes des mesures de rechange possibles »* (UICN 1980, d'après la version anglaise selon HARDI BARG 1997). La relation indissociable entre l'environnement, les préoccupations sociales et l'activité économique est alors reconnue.

Ce terme a été repris en 1987 par la Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement dans le rapport « Notre Avenir à tous » (COMMISSION BRUNDTLAND 1987). Traduit en français par « développement soutenable » puis « développement durable » ou « développement viable », il définit *« un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins »*. Ce rapport, en accordant autant d'importance à l'aspect humain du développement durable qu'à ses aspects environnemental et économique, constitue l'acte de naissance du développement durable.

Depuis la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement (CNUED, ou Sommet de la planète Terre) en 1992 à Rio de Janeiro le développement durable est reconnu comme un objectif par la communauté internationale : *« Le développement, c'est-à-dire la satisfaction des besoins de l'humanité, suppose pour être durable, de ne pas construire lui-même ses propres obstacles. Les conséquences, à moyen et long terme, des orientations choisies ne doivent pas aboutir à des impasses sociales, économiques, biologiques et environnementales »*. 150 états, encouragés par les ONG, s'engagent alors à œuvrer dans le sens du développement durable. Le rapport de l'Union Mondiale pour la Nature, du Programme des Nations Unies pour l'environnement et du Fonds Mondial pour la Nature (WWF) de 1991, définit également le développement durable comme *« le fait d'améliorer les conditions d'existence des communautés humaines, tout en restant dans les limites de la capacité de charge des écosystèmes »* (UICN PNUE WWF 1991).

Cette conférence est à l'origine de la Déclaration de Rio de Janeiro contenant 27 principes (NATIONS UNIES 1992), d'un plan d'action nommé Agenda 21, d'une convention cadre sur le changement climatique, d'une convention sur la diversité biologique et de principes cadres pour la gestion, la conversion et le développement durable des forêts. Les 27 principes introduits fondent les stratégies du développement durable. Ces principes sont inspirés de la Déclaration de Stockholm de 1972. Parmi ces principes figurent notamment le principe de précaution (principe 15), le principe de pollueur-payeur (principe 16) et le principe de solidarité (principe 27) (NATIONS UNIES 1992).

Au niveau de l'Union Européenne, un second texte législatif, le Traité d'Amsterdam, a été accepté en 1999. Il spécifie que *« l'union se donne pour objectif de promouvoir un progrès économique et social et d'atteindre un développement durable et équilibré »* (UNION EUROPEENNE 1998).

3.5.2. Définition

La notion de développement durable a évolué. En 1980, l'UICN mettait l'accent sur l'intégrité environnementale tout en reconnaissant la relation indissociable entre l'environnement, les préoccupations sociales et l'activité économique. L'importance accordée aux aspects environnementaux et économiques ainsi qu'au côté humain du développement durable n'est apparue qu'en 1987. Le rapport Brundtland est à l'origine d'une définition soulignant le fait que le développement durable correspond à un « *système dynamique changeant qui peut continuer à évoluer sans s'autodétruire* » (HARDI BARG 1997). Ce rapport énonce les caractéristiques d'un système durable mais aucune précision n'est apportée quant à sa réalisation. S'articulant jusqu'ici essentiellement autour de l'environnement et du développement, ce dernier va se scinder en deux au début des années quatre-vingt dix comprenant d'un côté l'économique et de l'autre le social (SEBASTIEN BRODHAG 2004). Les trois dimensions que sont l'environnement, le social et l'économie ne sont reconnues qu'à la fin des années quatre-vingt dix et enfin consacrées par le Sommet mondial sur le développement durable tenu en 2002 à Johannesburg.

Actuellement, la définition du développement durable communément utilisée (précédemment citée) est celle d'un « *développement qui permet de répondre aux besoins des générations présentes sans pour autant compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins* » (COMMISSION BRUNDTLAND 1987). Compte tenu de cette définition, la croissance correspond à un moyen de répondre aux besoins fondamentaux de tous. Le développement durable est synonyme de recherche d'un nouvel équilibre entre le développement économique, l'équité sociale et la protection de l'environnement dans les décisions et ceci sur le long terme.

Au sein de la communauté scientifique, quatre grands modèles implicites qui sous-tendent la définition du développement durable ont été identifiés (SEBASTIEN BRODHAG 2004 selon la CIRAD) :

- « *maintenir un niveau pour les générations futures ;*
- *maintenir un taux de croissance ;*
- *assurer l'optimum intemporel du bien-être ;*
- *résilience permanente* ».

Parfois une durabilité « faible » ou une approche anthropocentrée est distinguée d'une durabilité « forte » ou approche écocentrée. Alors que la première admet que certaines ressources soient remplacées par d'autres (approche néoclassique), la seconde ne l'admet pas, estimant que le capital naturel ne peut être remplacé par un capital de création humaine ou par un capital financier.

Compte tenu qu'aucun consensus n'existe encore au niveau international, la définition de la notion de développement durable, de même que son interprétation, restent parfois très différentes. Il est par exemple difficile de s'entendre sur ce qui devrait être soutenu et sur le sens même de durable ou encore sur le niveau souhaitable d'équilibre entre les aspects environnementaux, sociaux et économiques.

Toutefois, la définition du développement durable devrait tenir compte :

- des limites avec lesquelles nous devons vivre ;
- des interconnexions entre l'environnement, la société et l'économie ;
- de la distribution équitable des ressources et des moyens.

« *Toutes les définitions et les mesures de la durabilité doivent prendre en considération le fait qu'on ignore les détails réels du fonctionnement du système. On sait que tous les aspects du système affectent tous les autres, mais on ne connaît pas tous les détails particuliers de ces répercussions* » (HARDI BARG 1997).

3.5.3. Les dimensions environnementale, sociale et économique

3.5.3.1. Les trois dimensions du développement durable

Le concept de développement durable fait référence à trois dimensions (environnement, social, économie) qui se déclinent en trois principaux objectifs à savoir :

- maintenir l'intégrité de l'environnement (respect des limites écologiques) ;
- améliorer l'équité sociale (dont qualité de vie) ;
- améliorer l'efficacité économique.

La recherche d'un juste équilibre entre ces trois objectifs, qui est au cœur même du concept de développement durable, apparaît désormais comme primordiale pour un développement viable à long terme. Ce concept, qui souhaite préserver les intérêts de tous dans le cadre d'un équilibre général, relève de la problématique de l'optimum.

La dimension économique fait référence à la croissance, à la création de richesses qui permet d'améliorer les conditions de vie matérielles et immatérielles. Il est souvent admis que cette dimension fait partie de la société.

La dimension sociale comprend quant à elle les domaines de la santé, de l'habitat, de l'emploi, de l'éducation, de la prévention de l'exclusion sociale ou encore de la participation. Cette dimension fait référence à la notion d'équité intragénérationnelle (au sein d'une génération) et intergénérationnelle (entre les générations) ainsi qu'à la notion de démocratie et de droits humains. La dimension sociale ou société englobe l'économie tout en faisant partie intégrante de l'environnement.

La préservation de l'environnement, des milieux vitaux, des espèces, des ressources non renouvelables, les économies d'énergie ou encore la transmission du capital naturel sont au centre de la dimension environnementale ou écologique du développement durable.

L'équilibre entre ces trois dimensions, concernant des domaines parfois contradictoires, doit être recherché au sein d'un territoire et entre celui-ci et l'extérieur et ceci à différentes échelles. Il n'est toutefois pas toujours évident de distinguer les trois dimensions que le développement durable entend concilier.

Schématiquement, le concept de développement durable peut être représenté de deux façons (cf. Figure 18).

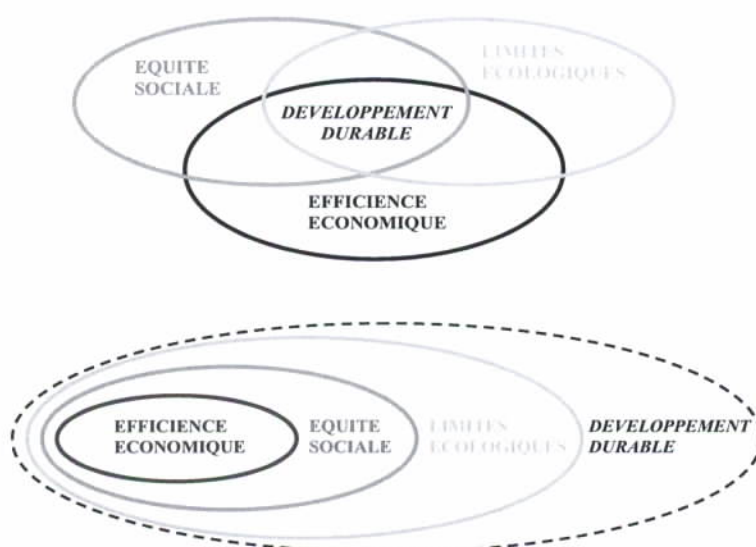


Figure 18 : Les trois dimensions du développement durable

Bien que le concept de développement durable cherche à ne pas différencier l'économique, le social et l'environnement et à insister sur les interrelations entre ces différentes dimensions, les approches dans ce domaine se limitent encore trop souvent à la dimension environnementale du concept (cf. 2.1.1). Cette focalisation est liée principalement au fait que la confrontation économie - écologie est à l'origine du concept de développement durable.

La dimension sociale fait l'objet de nombreux débats afin de s'entendre sur le degré d'importance à accorder à cette dimension et de soulever la pertinence et les limites des indicateurs sociaux qui peuvent souvent être influencés par des jugements politiques ou subjectifs.

3.5.3.2. La dimension sociale ou l'équité inter- et intragénérationnelle

La dimension sociale du développement durable est mentionnée dans le rapport de la Commission Brundtland (COMMISSION BRUNDTLAND 1988). En effet, il est écrit qu'« *au sens le plus large, le développement soutenable vise à favoriser un état d'harmonie entre les êtres humains et entre l'homme et la nature* ». Le développement durable « *présuppose un souci d'équité entre les générations, souci qui doit s'étendre, en toute logique, à l'intérieur d'une même génération* » (COMMISSION BRUNDTLAND 1988 ; SEBASTIEN BRODHAG 2004).

Le terme de social a la particularité de désigner à la fois, la société dans son ensemble et également certaines composantes spécifiques du bien-être individuel. Ainsi, le terme de social est défini comme : « *1. Relatif à une société, à une collectivité humaine. 2. Qui concerne les rapports entre un individu et les autres membres de la collectivité. 3. Qui concerne les rapports entre les divers groupes ou classes qui constituent la société. 4. Qui concerne les membres de la société, leurs conditions économiques, psychologiques. 5. Qui vise à l'amélioration des conditions de vie, et en particulier des conditions matérielles des membres de la société. 6. Relatif aux sociétés civiles et commerciales* » (Le Petit Larousse illustré 1999).

Le terme d'équité fait référence au respect des droits de chacun : « *1. Vertu de celui qui possède un sens naturel de la justice, respecte les droits de chacun; impartialité. 2. Justice naturelle ou morale, considérée indépendamment du droit en vigueur.* » (Le Petit Larousse illustré 1999). Ce terme, connoté culturellement, laisse une marge d'interprétation relativement importante. Selon les offices fédéraux suisses, « *le développement durable englobe le caractère indivisible des droits humains par-delà le temps et l'espace, droits qui comprennent la garantie de la dignité humaine et la préservation à long terme des conditions d'existence écologiques matérielles et culturelles nécessaires à l'épanouissement de la personnalité* » (OFS OFEFP ARE 2003).

Bien qu'il soit encore nécessaire de préciser le contenu de la dimension sociale du développement durable, il est essentiel de tenir compte de cette dimension dans toute approche qualifiée de durable. Intégrée dans l'environnement par certains (durabilité forte) et dans l'économie pour d'autres (durabilité faible), la dimension sociale n'est pas interdépendante de ces deux dimensions. Difficile à définir et à cerner, la dimension sociale fait l'objet de peu d'investigations.

Ce n'est que depuis peu que certains auteurs tentent de définir ce que comprend la dimension sociale. Ainsi, selon Sébastien et Brodhag (SEBASTIEN BRODHAG 2004), la dimension sociale du développement durable ou, plus précisément son approche socio-centrée, s'apparente à « *replacer l'homme au cœur des problématiques et réfléchir aux relations entre les hommes ainsi qu'à ce qui relie l'homme à son environnement* ». Dans ce cadre, les auteurs

distinguent un rapport social, qui se définit comme « *les relations entre humains contemporains (acteurs)* », et un rapport patrimonial, qui se définit comme « *les relations entre un acteur et sa nature d'une part (milieu naturel, êtres vivants non humains) et sa culture d'autre part (générations passées et générations futures)* ».

Boidin, quant à lui, met l'accent sur la notion de bien-être. Ainsi, selon cet auteur, la dimension sociale ou, plus précisément, le développement humainement et socialement durable peut être défini comme « *la recherche d'un développement qui assure l'amélioration du bien-être humain (ou son maintien), ce dernier étant déterminé par des caractéristiques personnelles (éducation, santé, libertés individuelles) ou collectives (cohésion sociale, niveau et répartition des richesses)* » (BOIDIN 2004).

La particularité de la durabilité sociale tient notamment au fait qu'elle est confrontée à la durabilité environnementale et économique. Elle est « *fonction des conditions de durabilité instituées par les autres dimensions du développement* » (BALLET DUBOIS MAHIEU 2004). Pour cette raison, l'étude des interactions entre ces différentes dimensions est primordiale de même que l'effet qu'elles peuvent avoir sur des situations de pauvreté, d'exclusion ou encore de vulnérabilité.

La dimension sociale est également particulière étant donné qu'elle doit être appréhendée tant au niveau des personnes que des groupes sociaux ou encore des sociétés. L'amélioration de la durabilité sociale au niveau individuel ne doit pour autant pas se faire au détriment de la durabilité sociale de la société dans son ensemble. « *La non-durabilité sociale du développement peut désigner tout autant l'anomie¹⁵¹ de la société que la décroissance des indicateurs individuels (en résulte une double vision du social)* » (BALLET DUBOIS MAHIEU 2004).

Au niveau des sociétés, la dimension sociale peut être représentée par la législation. Ainsi, afin de diminuer le coût social et par conséquent de rendre le système plus durable, des lois, des règlements ou encore des outils financiers¹⁵² peuvent être mis en œuvre.

Ainsi, l'appréhension de la vulnérabilité¹⁵³ de même que de l'inégalité est au centre de la dimension sociale. L'équité en ce qui concerne les conditions de vie, la qualité de vie ou encore le niveau de vie est recherchée tant au sein de chaque génération (équité intragénérationnelle) qu'entre différentes générations (équité intergénérationnelle). Alors que le respect de l'équité intragénérationnelle permet d'éviter les conflits et dysfonctionnements et par conséquence les blocages sociaux, l'équité intergénérationnelle permet quant à elle d'assurer une progression continue de la qualité de vie. « *L'absence d'équité peut, en effet, être à l'origine de frustrations, puis de troubles sociaux graves, conduisant au blocage et à l'arrêt de cette dynamique. Il s'agit tout autant de l'équité au sein d'une même génération que d'une équité entre générations* » (BALLET DUBOIS MAHIEU 2004).

Finalement, un développement socialement durable, peut être défini comme : « *un développement qui garantit aux générations présentes et futures l'amélioration des capacités¹⁵⁴ de bien-être (sociales, économiques ou écologiques) pour tous, à travers la recherche de l'équité d'une part, dans la distribution intra-générationnelle de ces capacités et, d'autre part, dans leur transmission inter-générationnelle.* » (BALLET DUBOIS MAHIEU 2004).

¹⁵¹ État de désorganisation, de déstructuration d'un groupe, d'une société, dû à la disparition partielle ou totale des normes et des valeurs communes à ses membres.

¹⁵² Ex. : la RPLP (Redevance sur le trafic des Poids Lourds liée aux Prestations)

¹⁵³ « *Il est essentiel de pouvoir évaluer le degré de vulnérabilité des personnes, et des sociétés, et leur possibilité de résistances aux chocs externes ou, autrement dit, leur capacité de résilience* » (BALLET DUBOIS MAHIEU 2004).

¹⁵⁴ Pour en savoir davantage sur l'approche des capacités : BALLET DUBOIS MAHIEU 2004 ; SEN 1987

3.5.4. Les dimensions temporelle et territoriale

Malgré la pluralité des approches, la problématique du développement durable s'est principalement focalisée sur la notion d'équité intergénérationnelle et, par conséquence, sur la dimension temporelle (LAGANIER VILLALBA ZUINDEAU 2002). La dimension spatiale ou territoriale, bien qu'elle soit requise d'un point de vue théorique dans l'approche du développement durable, en a presque été oubliée.

L'accent mis sur la dimension temporelle se retrouve notamment dans le domaine des transports où les travaux ont été essentiellement consacrés à la recherche d'un compromis entre la croissance du trafic et la protection de l'environnement (FEITELSON 2002).

La complémentarité de la dimension temporelle et de la dimension territoriale du développement durable, et en conséquence, de l'approche en termes d'équité intergénérationnelle et de l'approche en termes d'équité intragénérationnelle est reconnue d'un point de vue théorique. Dans une publication datant de 2002, Laganier, Villalba et Zuindeau soulignent la nécessité d'inclure l'équité intragénérationnelle dans cette approche : *« Le souci du sort, ou pour le moins la considération des intérêts des générations futures, n'a de sens que s'il s'accompagne d'une prise en compte de la génération présente dans la variété de ses situations. Et, à cet égard, les niveaux respectifs de bien-être suivant les territoires constituent une variable de première importance »* (LAGANIER VILLALBA ZUINDEAU 2002). Ces auteurs proposent notamment une lecture du développement durable comme une articulation de deux principes, à savoir le *« principe objectif d'interdépendance »* et le *« principe normatif d'équité »*. Alors que le premier principe résulte du constat d'un renforcement des interdépendances, qu'elles soient temporelle (passé, présent, futur), sectorielle (économie, société, environnement) ou spatiale (territoire), le second est motivé par un objectif central du développement durable : l'équité. Par définition, ces deux principes imposent la dimension territoriale dans l'objectif de tenir compte des liens (interdépendance) et de coupler l'équité intragénérationnelle à l'équité intergénérationnelle. *« Les inégalités, les injustices qui peuvent marquer les générations successives, trouvent aussi à se manifester d'un territoire à l'autre ou plus exactement, entre individus ou collectifs humains d'un même territoire, et entre différents territoires. »* (LAGANIER VILLALBA ZUINDEAU 2002).

Bien qu'elle présente un intérêt grandissant, la notion d'équité intragénérationnelle ou d'*« équité territoriale »* n'est pas aisée à interpréter. En effet, on est amené à s'interroger au niveau de l'échelle à laquelle cette notion doit être considérée : *« Le niveau à partir duquel le principe d'équité territoriale prend tout son sens reste à définir. »* (LAGANIER VILLALBA ZUINDEAU 2002 ; ZUINDEAU 1996).

Theys fait également partie des auteurs qui insistent sur l'importance de la dimension territoriale (THEYS 2002). Il rappelle également le *« caractère extrêmement réducteur, pour ne pas dire artificiel, des diagnostics sur les problèmes qui reposent sur des moyennes nationales – ou à fortiori internationales – en négligeant l'énorme différenciation des situations locales »*. L'approche globale, qui s'avère être très intéressante dans certains cas (ex. : effet de serre), n'est pas suffisante pour répondre à l'ensemble des objectifs du développement durable. Cette *« caractérisation a-spatiale »*, que l'on retrouve dans bon nombre de travaux, se doit d'être complétée d'une approche locale ou territoriale (LAGANIER VILLALBA ZUINDEAU 2002) afin de ne pas considérer les régions au même niveau.

L'hétérogénéité géographique grandissante *« est une première raison qui peut justifier une forte territorialisation de stratégies de développement durable »* (THEYS 2002). En effet, l'approche territoriale paraît particulièrement appropriée à intégrer les inégalités sociales et

écologiques qui prennent aujourd'hui de l'importance. L'opposition d'une approche territorialisée à une approche a-spatiale se ressent dans la vision contrastée de la dimension sociale. Alors que les approches globales ou économiques intègrent les inégalités sociales en tenant compte des revenus ou de l'accès au développement, l'approche territoriale cherche à considérer la répartition spatiale de ces inégalités et à observer les relations entre inégalités sociales et inégalités environnementales.

L'approche territoriale devrait également permettre de contribuer à la nécessaire transversalité entre les différentes dimensions du développement durable compte tenu que les dimensions environnementale, sociale et économique présentent des contradictions d'autant plus importantes au niveau local (THEYS 2002). L'étude pluridisciplinaire du développement durable s'avère d'autant plus importante dans l'approche territoriale.

Les discours sur la dimension territoriale du développement durable étant parfois contradictoires, Theys identifie deux logiques distinctes (THEYS 2002). L'intérêt est porté soit à « *une bonne intégration de l'environnement dans le développement local, les infrastructures ou la planification spatiale* » (géographes, aménageurs, bailleurs sociaux, propriétaires fonciers) soit à la « *consommation éthique, au principe de précaution, aux écotaxes, aux marchés de droit à polluer, ou à l'Organisation Mondiale du commerce* » (économistes, grandes entreprises, associations de consommateurs, ONG internationales, diplomates). Ainsi, on est amené à s'interroger sur l'objectif d'une approche territoriale du développement durable : « *S'agit-il de contribuer à la solution des grands problèmes planétaires – ou de garantir la viabilité et la sécurité à long terme de chaque espace spécifique ?* » (THEYS 2002).

3.5.5. A la recherche d'un transport durable

Le concept de transport durable implique l'application des idées du développement durable au système de transport. Il représente un aspect de la durabilité. Comme mentionné dans le chapitre 1.1.4, aucune définition du transport durable n'est communément admise à ce jour. Toutefois, la CEMT (OCDE) ainsi que le Centre pour un Transport Durable du Canada donnent une définition du transport durable (LEYRIT POUTCHY-TIXIER 1999). Ainsi, selon la définition la plus ancienne soit celle de la CEMT, le transport durable est « *un transport qui ne met pas en danger la santé publique et les écosystèmes et qui respecte les besoins de mobilité tout en étant compatible avec a) une utilisation des ressources renouvelables à un taux inférieur à celui nécessaire à leur régénération et b) une utilisation des ressources non renouvelables à un taux inférieur à celui nécessaire à la mise au point de ressources renouvelables de remplacement* ». La définition du Centre pour un Transport Durable du Canada est quant à elle plus systémique, puisqu'elle fait directement référence à l'intégration des trois dimensions du développement durable à savoir la protection de l'environnement, le bien-être de la collectivité et la croissance économique: « *Un transport durable s'entend d'un système qui permet aux particuliers et aux sociétés de satisfaire leurs principaux besoins d'accès d'une manière consistante et compatible avec la santé des humains et des écosystèmes, sous le signe de l'équité au cœur des générations et entre celles-ci ; est abordable, fonctionne efficacement, offre un choix de modes de transports et appuie une économie dynamique ; limite les émissions et les déchets de manière à ce que ceux-ci ne dépassent pas la capacité de la planète de les absorber, réduit au minimum la consommation de ressources non renouvelables, réutilise et recycle ses composantes et réduit au minimum le bruit et l'utilisation des terrains* ».

Pour être durable, le transport doit ainsi non seulement être respectueux des limites environnementales, socialement équitable et efficient d'un point de vue économique mais doit

également répondre aux principes du développement durable et notamment au principe d'équité. En novembre 2000, la répartition modale du trafic a été identifiée, par le Conseil européen de Göteborg, comme étant au cœur de la stratégie de développement durable dans le domaine des transports.

Dans le domaine des transports, comme d'une manière plus générale dans le domaine du développement durable, une approche globale peut être distinguée d'une approche territoriale. Bien que cette dernière présente un intérêt croissant, la plupart des recherches menées jusqu'à aujourd'hui dans l'objectif de mesurer la durabilité des transports se sont focalisées sur une approche globale.

Une approche globale cherche à évaluer la durabilité du système de transport dans son ensemble. Le système de transport considéré peut comprendre un ou plusieurs modes de transport. Souvent la durabilité de ce système est évaluée à l'échelle nationale. Cette approche s'avère intéressante si des externalités telles que les émissions de gaz carbonique, la consommation d'espace ou encore la consommation des ressources non renouvelables sont considérées. Elle est particulièrement adaptée dans l'objectif de répondre au principe d'équité intergénérationnelle (MAY 2003).

Pour compléter cette approche, une approche territoriale peut être envisagée. Dans le même sens que l'approche menée à l'échelle globale, il est envisageable d'évaluer la durabilité d'un système de transport à l'échelle régionale ou locale. Ainsi, il est possible de s'interroger sur le respect des limites environnementales, sur l'équité sociale ou encore sur l'efficacité économique du système dans les différentes régions. Cette approche a toutefois ses limites puisque la vision des dimensions sociale et économique peut être contrastée en fonction de l'approche. En effet, l'approche territoriale ne peut ignorer les effets du système global de transport au sein des différentes régions ; elle pourrait consister à évaluer la durabilité du système de transport compte tenu de l'effet du système global de transport sur la durabilité des régions. Un système de transport pourrait être considéré comme durable pour chaque région s'il respecte les limites environnementales, s'il n'existe pas d'inégalités écologiques ou sociales et si ce système ne pénalise pas l'économie locale. Finalement, pour être durable, un système de transport se doit de respecter la durabilité des différentes régions qu'il traverse.

3.6. Le concept de vulnérabilité

3.6.1. Définition

Dans cette recherche, la notion de sensibilité, qui existe indépendamment de facteurs exogènes, permet de traduire le risque de transmission d'une perturbation entre un élément perturbateur et un élément susceptible d'être exposé à cette perturbation (cf. 3.4.4). Chaque récepteur a une sensibilité propre qui varie en fonction de la perturbation. Ainsi, par exemple, alors que la végétation et les êtres humains sont tout deux sensibles aux polluants atmosphériques tels que les NO_x , seuls les êtres humains sont sensibles au bruit. Cette sensibilité propre à chaque récepteur est également variable au sein d'un même récepteur en fonction d'autres paramètres. Ainsi, l'âge ou encore l'état de santé physique ou psychologique peut être à l'origine de différences de sensibilité entre les êtres humains.

La notion de vulnérabilité, par opposition à la notion de sensibilité, existe dès le moment où un récepteur est susceptible d'être affecté par une nuisance. La vulnérabilité est parfois définie comme « *la probabilité de voir sa situation ou ses conditions de vie se dégrader, quel que soit son niveau de richesse, face à un choc ou un aléa* » (GONDARD-DELCROIX ROUSSEAU 2004). Ainsi, alors que la sensibilité fait référence à la perception, aux sens, la vulnérabilité renvoie à une attaque (ex. : maladie, décès). Cette dernière tient compte non

seulement de la sensibilité du récepteur mais également de la probabilité qu'il soit exposé à cette nuisance.

Ainsi, la vulnérabilité au trafic existe dès le moment où une infrastructure de transport se situe à proximité de récepteurs susceptibles d'être concernés par les nuisances induites par cette infrastructure. Le terme de nuisance comprend les aléas réguliers¹⁵⁵ tels que la pollution de l'air ou le bruit et des aléas irréguliers tels que les accidents. Dans le cas des aléas irréguliers, la combinaison de données relatives à la vulnérabilité avec des données relatives à la probabilité de l'aléa est nécessaire. Le concept de vulnérabilité, fortement dépendant de la fréquence et de l'importance de la perturbation (cf. Figure 19) « *rend compte des pressions extérieures auxquelles les individus sont soumis* » (GONDARD-DELCROIX ROUSSEAU 2004).



Figure 19 : Sensibilité et vulnérabilité

Partant du concept de développement durable, l'hypothèse selon laquelle un milieu présente une sensibilité et, par conséquent une vulnérabilité environnementale, sociale et économique est admise. Les caractéristiques environnementale, sociale et économique des milieux en corrélation avec la fréquence et l'importance des perturbations qui le concerne permettent d'évaluer la vulnérabilité de ces milieux.

3.6.2. Evaluation

La complexité de l'appréciation objective de la vulnérabilité d'une espèce est notamment soulignée par Maizeret (MAIZERET 1996) qui identifie les paramètres suivants : la fragilité intrinsèque, la répartition des effectifs et leur dynamique évolutive, les menaces.

Plus généralement, les facteurs qui peuvent influencer sur la vulnérabilité des êtres humains ou encore des animaux aux perturbations sont:

- leur sensibilité aux perturbations ;
- leur sensibilité aux perturbations dans une phase particulière de leur cycle de vie ;
- leur exposition aux nuisances ;
- leurs comportements ou leur mode d'occupation de l'habitat ;
- leur adaptabilité aux perturbations ou leur capacité à s'y habituer ;
- leur capacité de reproduction ;
- les caractéristiques de leur répartition géographique.

¹⁵⁵ Dans cette recherche, le terme de nuisances est préféré à celui d'aléa compte tenu que ce dernier fait référence à la probabilité d'un risque et suggère donc une certaine incertitude quant à sa réalisation.

L'évaluation de la vulnérabilité des territoires soumis à des risques implique souvent un recours à des supports d'information de type cartographique sous forme de cartes de vulnérabilité.

Ces propos peuvent être illustrés par l'exemple de la population. La représentation cartographique de la population sous la forme, par exemple, de sa densité ou de sa moyenne d'âge peut être considérée comme une carte de sensibilité. Par opposition, la représentation de la population concernée par des nuisances supérieures aux valeurs limites peut être considérée comme une carte de vulnérabilité de la population vis-à-vis de ces nuisances. De ce fait, la vulnérabilité de la population sera, par exemple, plus importante pour les espaces à forte densité de population que pour les espaces peu habités si ces deux espaces sont soumis à des valeurs d'immissions.

Une méthode permettant d'évaluer la vulnérabilité à la pollution de l'air induite par le trafic est notamment présentée par Mavroulidou et al. (MAVROULIDOU et al. 2004). Elle consiste à combiner une matrice d'interaction à une méthode de superposition de couches, réalisée au moyen d'un Système d'Information Géographique, afin de produire des cartes de vulnérabilité.

L'évaluation de la vulnérabilité présente un intérêt majeur. En effet, basée sur la mise en relation des valeurs d'immissions et des données représentant les récepteurs, l'évaluation de la vulnérabilité des régions (récepteurs) à un certain niveau de pollution permet de dépasser l'évaluation des émissions qui sont intrinsèques au mode de transport et des immissions qui sont intrinsèques à la région traversée.

3.7. La mesure

3.7.1. Les indicateurs

3.7.1.1. Définitions

Le terme « indicateur » vient du latin *indicare* qui signifie « révéler ou montrer, annoncer ou dénoncer publiquement, ou estimer ou attribuer une valeur » (cf. 2.1.3.1). Plus précisément, un indicateur est un « *instrument servant à fournir des indications* » ou encore une « *variable dont certaines valeurs sont significatives (d'un état, d'un phénomène économique)* »¹⁵⁶. Les indicateurs sont principalement utilisés pour simplifier, quantifier, mesurer et enfin communiquer l'information relative à des phénomènes complexes.

Un indicateur peut être (HERTIG 1999 ; GALLOPIN 1997):

- « simple », c'est-à-dire une variable¹⁵⁷ mesurable ou synthétique (quantitative), une variable descriptive (qualitative : nominale ou ordinale), une fonction de variables (rapport) ou encore une cote dépendant des critères;
- un « agglomérat » d'indicateurs simples qui permet de résumer un aspect significatif des systèmes ;
- un critère¹⁵⁸ qui remplace tous les autres¹⁵⁹.

Selon l'OCDE (1994), un indicateur est « *une statistique ou un paramètre qui, mesuré pendant une période de temps, fournit des renseignements sur les tendances dans l'état d'un*

¹⁵⁶ Petit Robert I 1987

¹⁵⁷ Les données représentent les valeurs de ces variables à différents moments ou à différents endroits.

¹⁵⁸ Un critère est une référence sur laquelle un choix, un jugement, une distinction ou une définition sont fondés en vue d'atteindre un objectif (ex. : une limite quantitative).

¹⁵⁹ Noté « indicateur (critère) » dans ce document.

phénomène et possède une signification dépassant celle qui est associée aux caractéristiques des statistiques elles-mêmes ».

Bien que les indicateurs quantitatifs soient les plus communs, les indicateurs qualitatifs sont intéressants dans le cas où le phénomène mesuré n'est pas quantifiable pour des raisons de source de données (ex : sondages d'opinion), d'absence de données quantitatives ou encore de coût.

Il n'est pas toujours évident de s'entendre sur ce qu'est un indicateur. En effet, de nombreuses ambiguïtés et contradictions entourent ce concept. Plusieurs publications (MOLDAN BILLHARZ 1997 ; GALLOPIN 1997) présentent les différentes définitions, relatives aux indicateurs d'une manière générale et aux indicateurs environnementaux, utilisées dans la littérature.

Il existe différents types d'indicateurs : indicateurs de système, de rendement, de pression, d'état, de réponse, prévisionnels ou prospectifs, rétrospectifs, objectifs, subjectifs, intrant et extrant, composites. Leur pertinence peut varier en fonction du problème et de l'échelle considérée. Ainsi, il est nécessaire de préciser l'indicateur qu'il est souhaitable d'obtenir en fonction de l'usage auquel il est destiné. Afin de pouvoir les soumettre à la critique, les indicateurs doivent faire preuve d'une transparence méthodologique.

3.7.1.2. Intérêt

Les indicateurs, qui peuvent être appliqués dans des domaines très variés, ont plusieurs fonctions.

Ils permettent de « *construire un modèle qui représente la réalité, mais qui n'est qu'une image simplifiée parmi d'autres de cette réalité* » (ZUINEN 2004). Cette simplification de la réalité aide à l'analyse et à la compréhension de phénomènes complexes en révélant certaines de leurs caractéristiques ou encore leur évolution. Le message fourni par l'indicateur est d'autant plus synthétique que l'agrégation de données très différentes est à l'origine de cet indicateur.

L'indicateur est également utilisé afin d'observer l'évolution d'un critère dans le temps et ainsi de permettre un suivi. L'utilisation d'une même méthode de calcul permet de calculer cet indicateur quel que soit le lieu ou le système et de procéder ainsi à des comparaisons. Le même indicateur mesuré à différents endroits, révèle la variation du phénomène dans l'espace, alors que le même indicateur mesuré à différentes périodes permet de révéler l'évolution du phénomène dans le temps.

Compte tenu de l'ensemble des possibilités qu'ils présentent, les indicateurs sont des outils de communication et d'aide à la décision indispensables qui impliquent directement les acteurs. Ils permettent en effet de comprendre et de contrôler les tendances et l'efficacité des politiques (ZUINEN 2004) et de répondre ainsi à leur but principal qui est de venir en aide à la gestion et à la prise de décision. Pour cette raison, des objectifs doivent être rattachés aux indicateurs afin de pouvoir mesurer les progrès réalisés dans le sens souhaité. Ce qui donne sens aux indicateurs, c'est leur pertinence par rapport aux problèmes que les acteurs se donnent comme objectif à résoudre. En fait, les indicateurs sont le produit d'un compromis entre l'exactitude scientifique et les besoins du processus décisionnel ou la nécessité d'agir rapidement.

D'une manière plus générale, les indicateurs permettent de quantifier un phénomène, d'évaluer l'état et l'évolution d'un phénomène afin d'anticiper son évolution future et ses conséquences (surveillance), d'informer et de sensibiliser le public à ce sujet, de mettre en

évidence et de résoudre les conflits d'objectifs et d'intérêts, de vérifier la pertinence des données et repérer les lacunes éventuelles dans la collecte des données aux différents échelons et enfin de dégager des corrélations nouvelles (MOLDAN BILLHARZ 1997 ; MEIER 2004).

3.7.1.3. Indicateurs de développement durable

L'appréhension de phénomènes complexes tels que ceux faisant référence au concept de développement durable conduit à la production d'indicateurs.

La plupart des indicateurs développés jusqu'à aujourd'hui sont des indicateurs environnementaux, sociaux ou économiques. Ces indicateurs bien qu'ayant une valeur explicative dans l'évaluation de la durabilité ne sont pas considérés comme des indicateurs du développement durable. Ces derniers doivent en effet veiller à ne pas différencier les trois dimensions du développement durable et à les considérer comme inséparables. La complexité que cela suppose explique pourquoi les indicateurs de développement durable existants sont encore souvent à l'essai (cf. 2.1.3).

Le besoin de mesurer ou plus précisément de quantifier le développement durable ou les progrès réalisés dans ce sens est à l'origine d'indicateurs de développement durable. Le besoin ainsi que la pertinence d'indicateurs du développement durable a été reconnue lors de la Conférence des Nations Unies de Rio de Janeiro en 1992 (NATIONS UNIES 1993). Ce besoin a été exprimé dans les chapitres 8 et 40 de l'Agenda 21: « *Il faut donc élaborer des indicateurs du développement durable afin qu'ils constituent une base utile pour la prise de décisions à tous les niveaux et contribuent à la durabilité autorégulatrice des systèmes intégrés de l'environnement et du développement.* » (Agenda 21, Chapitre 40). A l'heure actuelle, il n'existe pas de consensus ou de méthode standardisée pour construire un système d'indicateurs de développement durable, de liste exhaustive d'indicateurs de développement durable ou encore d'indications concernant l'utilisation de quel type d'indicateur dans quelle situation (cf. 2.1.3.2).

Compte tenu de la complexité à évaluer les interdépendances entre des différents domaines du développement durable, les indicateurs de développement durable sont développés en combinant des indicateurs relatifs aux secteurs environnemental, social et économique. L'objectif est d'appréhender les relations entre ces différents domaines. Ainsi, Zuinen (ZUINEN 2004) distingue des indicateurs d'intégration¹⁶⁰ qui « *établissent un rapport entre deux variables relatives à des composantes différentes du développement* » et des indicateurs agrégés qui « *combinent, selon une méthode d'agrégation, plusieurs indicateurs relatifs aux composantes économiques, sociales et environnementales du développement* ». Le degré d'agrégation varie en fonction des objectifs d'utilisation des indicateurs.

Comme en ce qui concerne les indicateurs environnementaux, les indicateurs de développement durable développés récemment ne tiennent que très rarement compte de la dimension spatiale du développement durable. Cela s'explique par les limites techniques liées au traitement de données géoréférencées ainsi qu'à la focalisation sur la dimension temporelle plutôt que sur la dimension spatiale.

3.7.1.4. Limites

Les indicateurs facilitent une lecture synthétique de phénomènes complexes et sont pour cela des outils très intéressants. Toutefois une certaine prudence est de mise lors de leur utilisation. En effet, donnant un reflet simplificateur d'un phénomène complexe, le recourt à des

¹⁶⁰ Ainsi, par exemple le rapport entre les immissions d'un polluant et le nombre d'habitants est considéré comme un rapport entre une variable sociale et une variable environnementale.

indicateurs induit toujours le risque d'occulter des informations importantes (MEIER 2004). Il est donc essentiel de garder à l'esprit qu'un système d'indicateurs n'est rarement voire jamais complet et qu'il demeure toujours une incertitude dans la mesure, bien que les indicateurs parviennent à la réduire. De plus, compte tenu de la perte de données analytiques dépendant du degré d'agrégation, il est essentiel de choisir un niveau d'agrégation pertinent selon l'objectif visé. Ainsi, alors que des indicateurs agrégés sont particulièrement intéressants dans un objectif de communication, des indicateurs détaillés sont préférés pour mener une analyse scientifique (Figure 20).

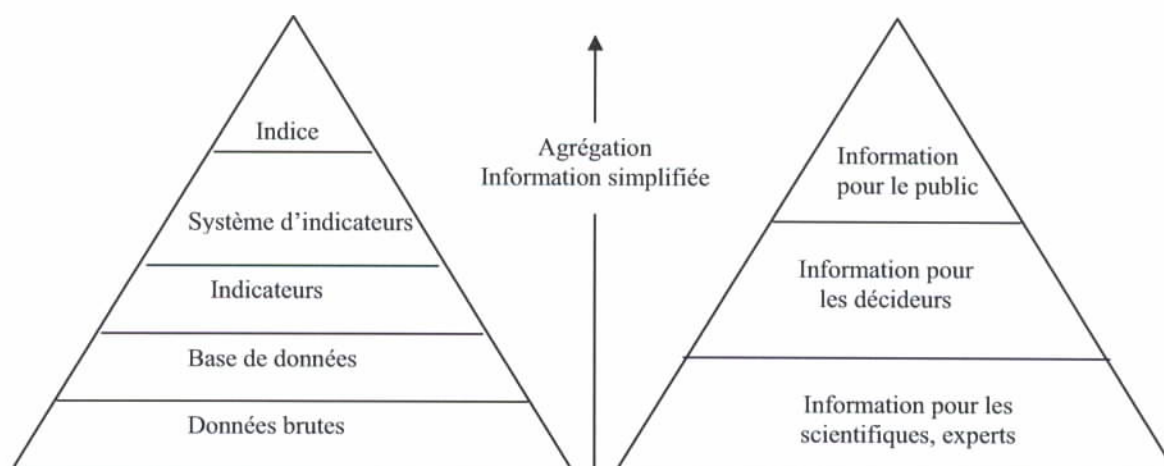


Figure 20 : Les indicateurs : une information destinée aux décideurs

Le choix des indicateurs peut également jouer un rôle relativement important sur la représentation du système. De ce fait, il est essentiel d'être rigoureux et méthodique lors de la sélection des indicateurs afin que ces derniers soient pertinents dans un contexte donné. Alors que le développement d'indicateurs est un travail scientifique ou technique, l'interprétation des indicateurs ex post est en partie subjective (ZUINEN 2004). D'une manière générale, la sélection des indicateurs est réalisée lors d'audiences publiques, de consultation ou de collaboration avec les principaux intéressés. La sélection d'indicateurs pertinents comprend généralement une étape préparatoire en vue de l'obtention d'un consensus qui permettra de préparer une série d'indicateurs et enfin d'assurer son institutionnalisation ou plus concrètement d'attribuer les tâches de collecte, de contrôle et de traitement des données (HARDI BARG 1997). Des listes de critères de sélection des indicateurs de développement durable sont également disponibles (BCRTEE 1993, LGMB 1995, SUSTAINABLE SEATTLE 1993) et comprennent des critères comme la disponibilité des données, la qualité des données, la capacité de prévision, la transparence ou encore la pertinence. Cette dernière dépend de leur faculté à identifier les changements dans le temps et dans l'espace. Les indicateurs devraient également être peu nombreux afin d'être utiles aux décideurs.

3.7.1.5. Pollution de l'air

Parmi l'ensemble des polluants émis par le trafic, il est nécessaire de mesurer les polluants les plus caractéristiques du type de pollution compte tenu de leurs effets nuisibles pour l'environnement et/ou la santé. Ces indicateurs (critères) de pollution atmosphériques ou ces polluants atmosphériques représentatifs permettront d'évaluer l'impact du trafic sur les différents récepteurs (population, sol, eaux, faune, végétation, etc.).

Actuellement dans le domaine des transports, les principaux indicateurs (critères) pour la pollution de l'air sont les oxydes d'azote, les particules et parfois les hydrocarbures (SG DFTCE 1997 ; EBP 1998 ; OFEFP OFS 2000 ; UVEK 2001 – cf. Tableau 14). Les oxydes d'azote sont particulièrement bien adaptés à la mesure des impacts subis par la végétation (DELETRAZ 1998 selon ALARY et al. 1994 et HOLLINGTON 1996) : « *La Directive 1999/30¹⁶¹ qui retient comme seul indicateur pour la protection de la végétation les oxydes d'azote a été prise comme référence* » (ETCHELECOU DELETRAZ ELICHEGARAY 2001). La mesure des effets sur la santé recourt quant à elle à deux principaux indicateurs : les NO_x (NO₂) et les particules (PM₁₀) (INFRAS IWW 2004b ; EBP 1998 ; OFEFP OFS 2000). Plusieurs études internationales parviennent à la conclusion que, compte tenu des connaissances actuelles, la teneur en poussières fines respirables (PM₁₀) s'avère être le meilleur indicateur en ce qui concerne la pollution de l'air et les impacts sur la santé qui en découlent (OFS 1999 ; EBP 1998 ; OFEFP OFS 2000). Enfin, afin de mesurer l'effet du trafic sur le climat, les émissions de gaz à effet de serre et plus particulièrement les émissions de CO₂ (principal précurseur de l'effet de serre) sont utilisées (EBP 1998 ; OFEFP OFS 2000 ; UVEK 2001).

Domaine	Objectif principal ¹⁶²	Sous-objectif ¹⁶³	Objectif de durabilité au niveau du projet ¹⁶⁴
écologie	Diminuer la pollution de l'environnement au niveau local, national et transfrontalier à un niveau qui n'offre aucune difficulté	Diminuer la pollution atmosphérique	Les PM ₁₀ et les NO _x sont à prendre en compte en priorité.
		Diminuer la pollution sonore	Concernant le bruit du trafic, sont prioritaires les zones de travail et d'habitation et les zones de détente.
	
	Diminuer les charges sur l'atmosphère	Diminuer l'atteinte au climat	CO ₂
économie	Optimiser les effets économiques indirects	Soutenir un développement économique régional équilibré	régional

société	Solliciter la solidarité économique	Protéger la santé des hommes	Trafic, accidents

Tableau 14 : Objectifs pour un transport durable – extrait (UVEK 2001)

Les externalités environnementales dont les polluants atmosphériques émis par le trafic, peuvent non seulement être catégorisées en fonction de la cause mais également en fonction

¹⁶¹ Directive 1999/30/CE du Conseil, du 22 avril 1999, relative à la fixation de valeurs limites pour l'anhydride sulfureux, le dioxyde d'azote et les oxydes d'azote, les particules et le plomb dans l'air ambiant, *Journal officiel* n° L 163 du 29/06/1999 p. 0041 - 0060

¹⁶² Traduit de l'allemand : Oberziel

¹⁶³ Traduit de l'allemand : Teilziel

¹⁶⁴ Traduit de l'allemand : Zielrichtung Nachhaltigkeit (Entwurf)

de l'échelle spatiale (FEITELSON 2002). Ainsi, certains polluants tels que les particules sont représentatifs de l'impact du trafic à l'échelle locale (dispersion inférieure à 5 kilomètres)¹⁶⁵ alors que d'autres polluants tels que les NO_x le sont à l'échelle régionale (dispersion jusqu'à 50 kilomètres) et le CO₂ à une échelle plus globale (dispersion jusqu'à 500 kilomètres).

Pour tester la méthode, les analyses les plus approfondies concernent uniquement deux polluants : les particules qui permettent d'appréhender l'impact du trafic sur la population à un niveau local et donc indirectement l'équité entre les générations et le CO₂ qui permet d'appréhender l'impact du trafic à une échelle plus globale (changement du climat) et donc indirectement, l'équité entre les générations (MAY ANTHONY et al. 2003).

3.7.1.6. Pollution sonore

Afin de mesurer les immissions sonores et leurs effets sur la santé ou la gêne qu'elles provoquent, des indicateurs (critères) sont utilisés. « *Un bon indicateur doit être à la fois représentatif de la gêne réellement perçue et facilement utilisable afin d'établir des seuils limites* » (T&E, 2000).

En général, les indicateurs correspondent à la moyenne de la durée et de la variabilité du bruit sur un certain laps de temps. Ils tiennent souvent compte de plusieurs paramètres tels que le volume, l'intensité, la fréquence, la durée ou encore la variabilité du bruit en question. Il existe de nombreux indicateurs de bruit (niveau maximal, niveau minimal, niveau dépassé pendant 1% de la période de mesure, etc.) qui, selon plusieurs études, contribuent parfois peu à l'explication des effets nuisibles. Ainsi, le choix de l'indicateur ne semble pas avoir une influence primordiale (OFEFP OFAT 1988). De ce fait, le niveau moyen (Leq) tend progressivement à s'imposer au niveau national comme base pour l'évaluation du bruit.

En Europe depuis très récemment, un nouvel indicateur est défini dans la réglementation européenne (COMMISSION EUROPEENNE 2002). Cet indicateur, représentatif des émissions sonores sur 24 heures [Lden] tient compte de la moyenne énergétique des niveaux sonores continus équivalents, mesurés sur trois intervalles de référence à savoir le jour (7h-19h), la soirée (19h-23h) et la nuit (23h-7h). En fonction de la période concernée différents facteurs correctifs sont appliqués. Ainsi, la période de soirée est majorée de 5 dB et la période nocturne de 10 dB.

En Suisse, les nuisances sonores sont quantifiées à partir du niveau d'évaluation L_r (cf. 3.2.1). En plus d'un niveau acoustique pondéré A¹⁶⁶, cet indicateur tient compte des caractéristiques de la gêne engendrée par un bruit donné par le biais d'un coefficient (K). Il est calculé pour deux périodes à savoir le jour (6h-22h) et la nuit (22h-6h). Cet indicateur est ensuite comparé aux valeurs limites d'immissions correspondant aux périodes diurne et nocturne (inférieure de 10 dB) fixées pour le trafic routier et ferroviaire et aux différents types de zones (cf. 3.7.2).

Que ce soit en Suisse ou en Europe, un niveau sonore diurne supérieur à 65 dB(A) est considéré comme inacceptable dans les zones habitées.

Concernant les conséquences économiques du bruit, le principal indicateur est le coût engendré. La dévaluation de la valeur des biens immobiliers est au cœur de la majorité des modèles existants destinés à mesurer en termes économiques les dégâts dus au bruit.

¹⁶⁵ OFEFP 1999

¹⁶⁶ L'indice énergétique pondéré A est l'indice acoustique le plus utilisé dans le monde dans le domaine du bruit routier et ferroviaire.

3.7.2. Les valeurs limites

3.7.2.1. Définition

Toute société industrialisée est à l'origine de nuisances ou encore d'une charge sur l'environnement. Pour protéger l'environnement et, plus précisément, certains êtres vivants ou objets vis-à-vis de ces nuisances des valeurs limites d'immissions sont fixées.

Une valeur limite d'immission, également appelée parfois valeur limite d'exposition, peut être définie comme la valeur qu'il convient de ne pas dépasser sous peine de risques de dommages. Ainsi, si cette limite est respectée, il est admis qu'aucune atteinte nuisible ou incommode n'est susceptible d'affecter le récepteur considéré. Au contraire, tout dépassement de cette limite doit être interprété comme une menace. Les valeurs limites représentent ainsi une frontière entre l'admissible et l'inadmissible (KNOEPFEL DESCLOUX 1988) ou encore un point critique qui ne devrait pas être franchi (OFEFP 1992). La fixation des valeurs limites d'immissions ne suit pas une procédure donnée (OFEFP 1986). Généralement, elle se base sur l'état des connaissances scientifiques relatives aux risques ou effets liés à une exposition plus ou moins importante et longue à une pollution. L'analyse de relations dose-effet, des études épidémiologiques ainsi que des études expérimentales sont menées dans cet objectif. Toutefois, malgré la recherche d'une objectivité maximale, toute valeur limite d'immission reste « *le fruit d'un ensemble de décisions prises par différents acteurs, selon différentes logiques, tout au long de son élaboration.* » (KNOEPFEL DESCLOUX 1988).

Compte tenu de la variété des bases légales, des définitions statistiques, de la valeur juridique et des modalités de mise en œuvre (OFEFP 1992), des écarts importants sont parfois observés entre les valeurs limites d'immissions de différents pays ou organisations et leur comparaison peut s'avérer délicate¹⁶⁷. Les valeurs limites d'immissions utilisées en Suisse correspondent aux valeurs recommandées par les organisations internationales. Elles se calquent sur les recommandations les plus sévères de l'OMS. Ces valeurs qui ont été fixées pour protéger l'ensemble de la biosphère et non uniquement la santé humaine qui semble mieux supporter des expositions semblables, sont parmi les plus sévères au monde (KNOEPFEL DESCLOUX 1988).

En fonction de leur définition et des objectifs à atteindre, les valeurs limites d'immissions peuvent être qualifiées de valeurs limites d'immissions à long terme ou à court terme. Alors que les valeurs à court terme sont intéressantes pour identifier les effets aigus, les valeurs à long terme permettent principalement d'identifier les effets chroniques sur la base par exemple de moyennes arithmétiques annuelles.

En Suisse, la protection de l'environnement se base sur l'article 74 de la Constitution fédérale qui spécifie que la Confédération « *légifère sur la protection de l'être humain et de son environnement naturel contre les atteintes nuisibles ou incommodes* » et qu'« *elle veille à prévenir ces atteintes* ».

Entrée en vigueur en 1985, la Loi sur la Protection de l'Environnement (LPE 1983) énonce les principes relatifs à la protection de l'environnement. Elle spécifie ainsi que les émissions (pollution atmosphérique, bruit, vibrations, rayons) doivent être limitées tant à titre préventif que lorsqu'un risque existe « *dans la mesure que permettent l'état de la technique et les conditions d'exploitation et pour autant que cela soit économiquement supportable* » (article 11). Le Conseil fédéral est tenu d'édicter « *des valeurs limites d'immissions applicables à l'évaluation des atteintes nuisibles ou incommodes* » en tenant compte « *de l'effet des* »

¹⁶⁷ Ainsi, les valeurs limites d'immissions suisses sont comparables avec les valeurs limites des pays qui sont établies avec des critères basés sur les effets uniquement (OFEFP 1992).

immissions sur des catégories de personnes particulièrement sensibles, telles que les enfants, les malades, les personnes âgées et les femmes enceintes » (article 13). Les critères, selon lesquels doivent être déterminées les valeurs limites d'immissions concernant les polluants atmosphériques et le bruit, figurent dans les articles 14 et 15 de cette loi:

« Les valeurs limites d'immissions des pollutions atmosphériques sont fixées de manière que, selon l'état de la science et l'expérience, les immissions inférieures à ces valeurs :

- a. ne menacent pas les hommes, les animaux et les plantes, leurs biocénoses et leurs biotopes ;*
- b. ne gênent pas de manière sensible la population dans son bien-être ;*
- c. n'endommagent pas les immeubles ;*
- d. ne portent pas atteinte à la fertilité du sol, à la végétation ou à la salubrité des eaux. »*

« Les valeurs limites d'immissions s'appliquant au bruit et aux vibrations sont fixées de manière que, selon l'état de la science et de l'expérience, les immissions inférieures à ces valeurs ne gênent pas de manière sensible la population dans son bien-être. »

Dans les deux cas, le seul critère des effets sur l'homme et l'environnement est considéré. Ainsi, plus les valeurs limites d'immissions sont dépassées, plus les risques de dommages pour la santé humaine et l'environnement augmentent (OFEFP 1992). Les valeurs limites d'immissions de polluants atmosphériques et de bruit figurent respectivement dans l'OPair (Opair 1985) et l'OPB (OPB 1986). Compte tenu de la mise en consultation de ces deux ordonnances auprès de nombreux groupes d'intérêt et des discussions menées à ce sujet, un consensus semble exister en faveur de ces valeurs limites d'immissions en Suisse.

Les valeurs limites d'immissions s'appliquent dès le moment où des hommes, des animaux, des plantes ou encore des biens à protéger sont présents dans l'environnement. Les valeurs limites d'immissions ne s'appliquent toutefois pas au niveau de la voie de circulation qui est considérée comme une installation polluante (OFEFP 1992).

3.7.2.2. Pollution de l'air

L'homme, les animaux, les plantes ainsi que leur biocénose et biotope, les sols, les eaux, les constructions sont mis sur le même pied d'égalité en ce qui concerne leur protection vis-à-vis des polluants atmosphériques (article 14 LPE). Afin de garantir leur protection, des études scientifiques ont été menées au sujet des effets de la pollution atmosphérique et des valeurs ont été fixées dans l'OPair qui est entrée en vigueur en 1986.

Ainsi selon l'article 2 de l'OPair (OPair 1986), *« sont considérées comme excessives les immissions qui dépassent une ou plusieurs des valeurs limites figurant à l'annexe 7. Si pour un polluant aucune valeur limite n'est fixée, les immissions sont considérées comme excessives lorsque :*

- a. elles menacent l'homme, les animaux et les plantes, leurs biocénoses et leurs biotopes ;*
- b. sur la base d'une enquête, il est établi qu'elles incommode sensiblement une importante partie de la population ;*
- c. elles endommagent les constructions ;*
- d. portent atteinte à la fertilité du sol, à la végétation ou à la salubrité des eaux. »*

Les valeurs limites d'immissions, qui font référence à un état qualitatif minimal de l'air, concernent toutefois les polluants les plus connus (cf. Tableau 15). L'absence des composés organiques volatils peut surprendre.

Substance	Valeur limite d'immission $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Définition statistique
Anhydride sulfureux (SO_2)	30	moyenne annuelle (moyenne arithmétique)
Dioxyde d'azote (NO_2)	30	moyenne annuelle (moyenne arithmétique)
Monoxyde de carbone (CO)	8	moyenne par 24 h ; ne doit en aucun cas être dépassée plus d'une fois par année
Ozone (O_3)	120	moyenne horaire ; ne doit en aucun cas être dépassée plus d'une fois par année
Poussières en suspension (PM10)	20	moyenne annuelle (moyenne arithmétique)

Tableau 15 : Aperçu des valeurs limites d'immissions atmosphériques (OPair 1986 / cf. Annexe 2)

Certains polluants, comme le SO_2 , le NO_x ou encore les poussières sont considérés comme indicateurs et représentatifs pour beaucoup d'autres combinaisons ou composés.

3.7.2.3. Pollution sonore

Les valeurs limites d'immissions relatives au bruit sont fixées sur la base de la gêne provoquée sur la population (article 15 LPE). L'OPB fixe les valeurs limites d'immissions ou d'expositions au bruit de différents types d'installation. Les valeurs limites relatives au trafic routier et ferroviaire figurent respectivement à l'annexe 3 et 4 de cette ordonnance (OPB 1986). Les valeurs limites sont équivalentes pour ces deux modes de transport.

Dans le cas du bruit, des valeurs limites d'immissions différentes entre la nuit et le jour, de même qu'entre différents types de zones, sont fixées (cf. Tableau 16 / Annexe 3). Les zones sont délimitées en fonction de leur degré de sensibilité (article 43 de l'OPB) : « Dans les zones d'affectation selon les art. 14 et suivants de la loi fédérale du 22 juin 1979 sur l'aménagement du territoire¹⁶⁸, les degrés de sensibilité suivants sont à appliquer :

- le degré de sensibilité I dans les zones qui requièrent une protection accrue contre le bruit, notamment dans les zones de détente ;
- le degré de sensibilité II dans les zones où aucune entreprise gênante n'est autorisée, notamment dans les zones d'habitation ainsi que dans celles réservées à des constructions et installations publiques ;
- le degré de sensibilité III dans les zones où sont admises des entreprises moyennement gênantes, notamment dans les zones d'habitation et artisanales (zones mixtes) ainsi que dans les zones agricoles ;
- le degré de sensibilité IV dans les zones où sont admises des entreprises fortement gênantes, notamment dans les zones industrielles.

On peut déclasser d'un degré les parties de zones d'affectation du degré de sensibilité I ou II, lorsqu'elles sont déjà exposées au bruit. »

¹⁶⁸ LAT 1979

Degré de sensibilité (art. 43)	Valeur limite d'immission Lr en dB(A)	
	Jour	Nuit
I	55	45
II	60	50
III	65	55
IV	70	60

Tableau 16 : Valeurs limites d'expositions au bruit (OPB 1986)

3.7.2.4. Intérêts

Les valeurs limites d'immissions ne constituent pas une mesure directe de protection. Toutefois, en permettant de juger de la qualité de l'air ou de l'ambiance sonore, elles représentent un élément clé pour répondre au critère de protection qui est au cœur de la loi sur la protection de l'environnement¹⁶⁹. En effet, la mise en œuvre de mesures d'assainissement est prévue dès lors que les immissions dépassent ou risquent de dépasser les valeurs limites d'immissions.

Compte tenu du souhait de privilégier l'action préventive, la législation suisse ne fixe pas de valeurs d'alerte ou d'alarme¹⁷⁰ en ce qui concerne les polluants atmosphériques. En effet, des immissions inférieures aux valeurs d'alarme ne peuvent pas forcément être exemptes d'atteinte sur l'homme et l'environnement.

Les valeurs limites d'immissions cherchent à répondre aux deux principes de la loi sur la protection de l'environnement qui sont le principe de la prévention et celui de la charge limite auxquels l'article 11 de la LPE fait référence (LPE 1983). Alors que le premier met l'accent sur les émissions en cherchant à les maintenir aussi basses que possible, le second s'intéresse aux immissions et vise à conserver le minimum exigible en ce qui concerne la qualité de l'air et l'ambiance sonore. La spécification de ces deux niveaux contribue à renforcer le rôle et la signification des valeurs limites d'immissions puisqu'elle n'autorise pas les émetteurs à polluer tant que ces valeurs limites ne sont pas atteintes. A ce sujet, Knoepfel et Descoux parlent de « droit de remplissage » (KNOEPFEL DESCLOUX 1988).

3.7.2.5. Limites

Les recommandations au sujet de la fixation des valeurs limites d'immissions sont variées du fait que les scientifiques ont recourt à différentes méthodes qui s'avèrent être parfois en compétition.

Les valeurs limites d'immissions sont principalement déterminées au moyen d'études épidémiologiques ou d'études expérimentales (études toxicologiques en laboratoire). Alors que les premières sont particulièrement adaptées pour identifier les effets dus au polluant étudié parmi d'autres influences, les secondes permettent de cerner les effets aigus du polluant (OFEFP 1992).

Compte tenu des investissements nécessaires à la réalisation de telles études, les effets induits par l'ensemble des polluants ne peuvent être appréhendés et, par conséquent, des doutes

¹⁶⁹ Article 1 de la LPE : « La présente loi a pour but de protéger les hommes, les animaux et les plantes, leurs biocénoses et leurs biotopes des atteintes nuisibles ou incommodes, et de conserver la fertilité du sol » (LPE 1983).

¹⁷⁰ « Niveau de concentration à partir duquel on observe sur une majeure partie de la population des effets aigus si graves qu'il est impératif d'agir immédiatement » (OFEFP 1992).

subsistent quant à la connaissance des effets supposés les plus nocifs (KNOEPFEL DESCLOUX 1988).

Les connaissances scientifiques relatives aux relations dose-effet étant encore insuffisantes, le facteur risque est pris en compte lors de la définition de valeurs limites d'immissions. Ainsi, les valeurs limites d'immissions ne correspondent pas exactement aux valeurs déterminées à l'aide d'études épidémiologiques ou expérimentales à partir desquelles commencent à apparaître des effets dommageables. Les valeurs limites d'immissions sont fixées généralement bien en-dessous du niveau auquel la plupart des relations immissions/effets ont été observées.

Cette incorporation de facteurs de sécurité ne permet toutefois pas d'affirmer que les valeurs limites d'immissions constituent une limite tranchée entre nocivité et non nocivité et d'ignorer le fait que certaines substances semblent présenter un danger quel que soit leur importance. C'est le cas des substances cancérigènes et, semble-t-il, des particules (HILTY 2005). De plus, les connaissances scientifiques relatives à l'impact à long terme de faibles doses ainsi qu'à l'effet cocktail de plusieurs polluants sont également insuffisantes à l'heure actuelle.

Cette insécurité est communément admise : *« Vu les nombreuses insécurités et l'état encore fragmentaire des connaissances scientifiques, les acteurs politiques, scientifiques et administratifs partagent la conviction que toute décision, même si elle revêt une apparence hautement scientifique, inclut des jugements de valeurs difficiles voire impossibles à vérifier, à l'heure actuelle, d'une manière soi-disant précise. » « Les scientifiques reconnaissent volontiers ces incertitudes et admettent l'impossibilité de fixer des valeurs à caractère entièrement objectif. Ils soulignent que, pour des raisons épistémologiques, démontrer des non-effets n'est pas possible »* (KNOEPFEL DESCLOUX 1988).

Concernant les immissions sonores, les valeurs limites sont susceptibles de présenter plus de sécurité étant donné que la sensation de gêne vis-à-vis du bruit est subjective. La détermination des valeurs limites d'immissions, sur la base d'enquêtes, devrait permettre de fixer des valeurs correspondant à une majeure partie de la population.

Bien que la science présente ses limites, l'Etat cherche à appuyer ses actions sur des bases scientifiques en toute connaissance de cause. Certains prétendent toutefois que les valeurs limites d'immissions sont influencées par des jugements de valeurs et qu'elles sont plutôt le résultat d'un processus politique et social (Winter et Schluchter selon KNOEPFEL DESCLOUX 1988).

Chapitre 4. Concepts pour un outil d'aide à la décision

4.1. Vers un outil d'aide à la décision

4.1.1. Envisagé pour le « segment alpin »

Le développement d'une méthodologie, permettant d'évaluer l'impact des immissions sonores et atmosphériques ou d'autres nuisances induites par les trafics routier et ferroviaire sur les différents récepteurs (cf. 1.2), est motivé par l'objectif d'envisager l'élaboration d'un outil d'aide à la décision à l'échelle du segment alpin (cf. 3.3.1).

Un tel outil permettrait d'améliorer la qualité de la prise de décisions à une échelle internationale en aidant les décideurs à comparer la situation dans les différents pays, le long des différents corridors et au sein des différentes régions au moyen de critères relativement simples et comparables. Il permettrait également d'identifier les zones les plus critiques sur l'ensemble de ce segment et de comparer plusieurs solutions de report modal et/ou spatial pouvant être envisagées.

L'objectif est déterminant dans l'élaboration de cette méthodologie. En effet, les données utilisées sont, dans la mesure du possible, des données disponibles pour l'ensemble du « segment alpin ». L'échelle à laquelle est appréhendé le phénomène, de même que le degré de précision de la modélisation, dépend directement de cet objectif.

La difficulté de développer une méthodologie à cette vaste échelle réside dans la recherche d'un juste équilibre entre les capacités de modélisation compte tenu des moyens techniques à disposition et la précision minimale nécessaire pour obtenir des résultats pertinents dans une perspective d'aide à la décision.

4.1.2. Appliqué à la Suisse

Pour valider la méthodologie développée, cette dernière est testée sur l'ensemble du territoire suisse. Plusieurs raisons expliquent ce choix.

D'une part, il se justifie par la facilité d'accès aux données qui appartiennent souvent aux offices fédéraux ou disponibles au sein de l'EPFL ; d'autre part, l'objectif d'appliquer cette méthodologie à l'ensemble du « segment alpin » conduit à considérer l'ensemble du territoire national et non uniquement un corridor. De cette manière la validation peut tenir compte de l'élaboration de scénarios présentant un transfert modal mais aussi spatial du trafic transalpin de marchandises. Des considérations matérielles telles que la mémoire informatique à disposition ou la longueur des traitements informatiques expliquent également ce choix.

4.2. Les Systèmes d'Information Géographique

4.2.1. Définition

Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) comme les Systèmes d'Information sur le Territoire (SIT) sont des Systèmes d'Information à Référence Spatiale (SIRS) (ARNAUD 1999). Un SIRS peut être défini comme « *un système d'aide à la décision qui intègre des données à référence spatiale dans un environnement informatique pour la solution de problèmes spécifiques* » (COWEN 1988). Les SIRS sont utilisés pour la gestion et l'aménagement du territoire. Le but est d'obtenir des informations significatives afin de baser

la décision sur des arguments rationnels. Par conséquent cela permet de diminuer la subjectivité des décisions d'aménagement (ARNAUD 1999). Les SIRS ont la capacité d'intégrer diverses méthodes d'analyse spatiale pour traiter la dimension géographique d'un phénomène avec une efficacité comparable à celle des attributs thématiques (THERIAULT 1996).

Alors que les SIT utilisent des modèles à grande échelle (cadastre) pour gérer et administrer le territoire, les SIG sont conçus pour l'étude synthétique des milieux naturels et des activités humaines distribuées sur l'ensemble du territoire tels qu'on les perçoit à l'échelle locale et régionale. De nombreux auteurs ont donné une définition des Systèmes d'Information Géographique (SIG). Pour Marius Thériault un SIG est « *un ensemble de principes, de méthodes, d'instruments et de données à référence spatiale, utilisés pour saisir, conserver, transformer, analyser, modéliser, simuler et cartographier les phénomènes et les processus distribués dans l'espace géographique. Les données sont analysées afin de produire l'information nécessaire pour aider les décideurs* » (THERIAULT 1996). Plus concrètement un SIG est un ensemble d'équipements informatiques, de logiciels et de méthodologies pour la saisie, la validation, le stockage et l'exploitation de données, dont la majorité est spatialement référencée. Il est destiné à la simulation de comportement d'un phénomène naturel, à la gestion et à l'aide à la décision. Les SIG visent à une meilleure connaissance ainsi qu'à la prise en compte des processus naturels et anthropiques qui modifient la structure et l'utilisation du territoire. Ils aident donc les planificateurs, les scientifiques et les politiciens à prendre des décisions stratégiques concernant par exemple l'aménagement régional, l'urbanisme ou la protection de l'environnement.

4.2.2. Objectifs

Du volume considérable d'information disponible au sujet du territoire naît un besoin de synthèse afin de dégager les faits significatifs. Les SIG, permettant d'organiser la connaissance du monde réel (THERIAULT 1996), répondent à ce besoin en aidant à agréger ces différentes informations. Ils ont la capacité de lier les connaissances à l'espace, de lier l'information au territoire, de localiser des informations dans l'espace et enfin de rechercher les informations pertinentes à un endroit donné (GOLAY 2002). Les techniques de modélisation et de simulation permettent cette simplification de la réalité ainsi que la synthèse des données initiales pour produire de l'information. Cette information, résumant l'ensemble des données initiales, est plus accessible et représente alors une aide précieuse pour les décideurs qui pourront dégager plus facilement la solution pertinente en ce qui concerne les futurs aménagements.

Finalement la finalité des SIG est l'aide à la décision. C'est ce que rappelle notamment Marius Thériault. Selon lui, l'objectif fondamental des SIG est de développer des systèmes d'aide à la décision (SAD) capables de considérer l'espace dans le processus analytique afin d'évaluer les impacts géographiques d'une décision d'aménagement.

4.2.3. Données : acquisition, stockage et traitement

Les données spatiales, qui constituent la base même du SIG, peuvent être exprimées selon deux catégories de structure géométrique à savoir le mode vectoriel (représentation discrète) et le mode maillé (ou matricielle, ou « raster »¹⁷¹ / représentation continue). Ces deux modes

¹⁷¹ « *A spatial data model that defines space as an array of equally sized cells arranged in rows and columns. Each cell contains an attribute value and location coordinates. Unlike a vector structure, which stores coordinates explicitly, raster coordinates are contained in the ordering of the matrix. Groups of cells that share the same value represent geographic features.* » GIS dictionary ArcGIS

de codage sont complémentaires car ils permettent de dégager des informations différentes à partir de données initiales semblables. En effet, le mode vectoriel donne une description géométrique (point, ligne, polygone) des objets distribués sur le territoire. Il ne permet pas de faire une extrapolation des valeurs comprises entre deux objets. Le mode maillé prend la valeur moyenne d'un paramètre sur l'unité spatiale qu'est un pixel¹⁷². Il représente le territoire avec des images dont la résolution spatiale varie selon la taille des pixels. La qualité des données utilisées est déterminante quant à la fiabilité et l'utilité du Système d'Information Géographique.

La partie informatisée du SIG comporte deux ensembles distincts et complémentaires : d'une part, un niveau géométrique (données associant une description géométrique du territoire (forme et localisation de l'objet)) et, d'autre part, un niveau sémantique (informations relatives à la nature, à l'aspect de l'objet ou encore à ses éventuelles relations avec d'autres objets ou phénomènes).

Le noyau du système est constitué par la base de données à caractère spatial et thématique qui se compose d'objets spatiaux et de leurs attributs. Cette base de données est organisée sous forme de classes d'objets vectoriels¹⁷³ organisées en couches et de données « raster »¹⁷⁴ qui peuvent se superposer. Une couche représente une seule classe d'objets qui peut être associée à une série d'attributs. La gestion simultanée, de même que l'analyse des données thématique et spatiale, sont assurées par un Système de Gestion de Base de Données (SGBD). Au cours des trente dernières années, les SGBD ont évolué et actuellement les systèmes relationnels et objets se côtoient.

Cette architecture permet d'analyser les différentes couches par la mise en évidence de corrélations au moyen de requêtes, d'opérateurs mathématiques, d'opérateurs de distance et d'opérateurs contextuels. Les SIG, qui constituent une technologie synergique et multidisciplinaire qui intègre des principes et méthodes issues de plusieurs disciplines traditionnelles, permettent ainsi différents types de traitements et usages :

- localisation : inventaire localisé ;
- distribution : analyse thématique ;
- évolution : analyse temporelle ;
- répartition : analyse spatiale ;
- modélisation : simulation des processus ;
- optimisation : aide à la décision.

Conçus à l'origine pour traiter des données spatiales, les SIG apparaissent désormais comme un complément aux méthodes multicritères. L'objectif de cette association est de faire évoluer les SIG vers de véritables systèmes d'aide à la décision (cf. 2.1.1.2.3).

4.2.4. ArcGIS – ArcInfo 9

Les logiciels SIG permettent non seulement des fonctions de recherche dans des domaines divers tels que l'analyse spatiale, la statistique ou la cartographie, mais également l'élaboration de modèles géographiques qui permettent de simuler des scénarios d'aménagement et ainsi de faciliter la prise de décision par les acteurs concernés.

La version 9 du logiciel ArcGIS/ArcInfo est pourvue d'un ensemble d'outils (ArcToolbox), d'un environnement destiné à la création de modèles (ModelBuilder) ou encore d'une interface permettant la création et l'intégration de scripts¹⁷⁵ (Visual Basic Editor) et présente

¹⁷² Note de bas de page ⁶²

¹⁷³ La classe d'objets est appelée « feature class » dans ArcGIS.

¹⁷⁴ Note de bas de page ¹⁷¹

¹⁷⁵ « Le mot script vient du mot latin scriptum (du verbe scribere) qui signifie « écriture, scénario ». En français, il a pris un sens proche de « procédure écrite » (ensemble d'instructions à respecter). En informatique un script est un programme en langage interprété. » Wikipedia

des fonctions de traitement, d'analyse, de modélisation, de représentation et de stockage importantes.

4.3. Le concept

La méthodologie repose sur un concept de base comprenant trois éléments principaux, à savoir (cf. Figure 21):

- les sources ;
- les récepteurs ;
- le lien géographique entre ces deux éléments.

« A set of instructions in plain text, usually stored in a file and interpreted, or compiled, at run time. In geoprocessing, scripts can be used to automate tasks, such as data conversion, or generate geodatabases and can be run from their scripting application or added to a toolbox. Geoprocessing scripts can be written in any COM-compliant scripting language, such as Python, JScript, or VBScript. » GIS dictionary ArcGIS

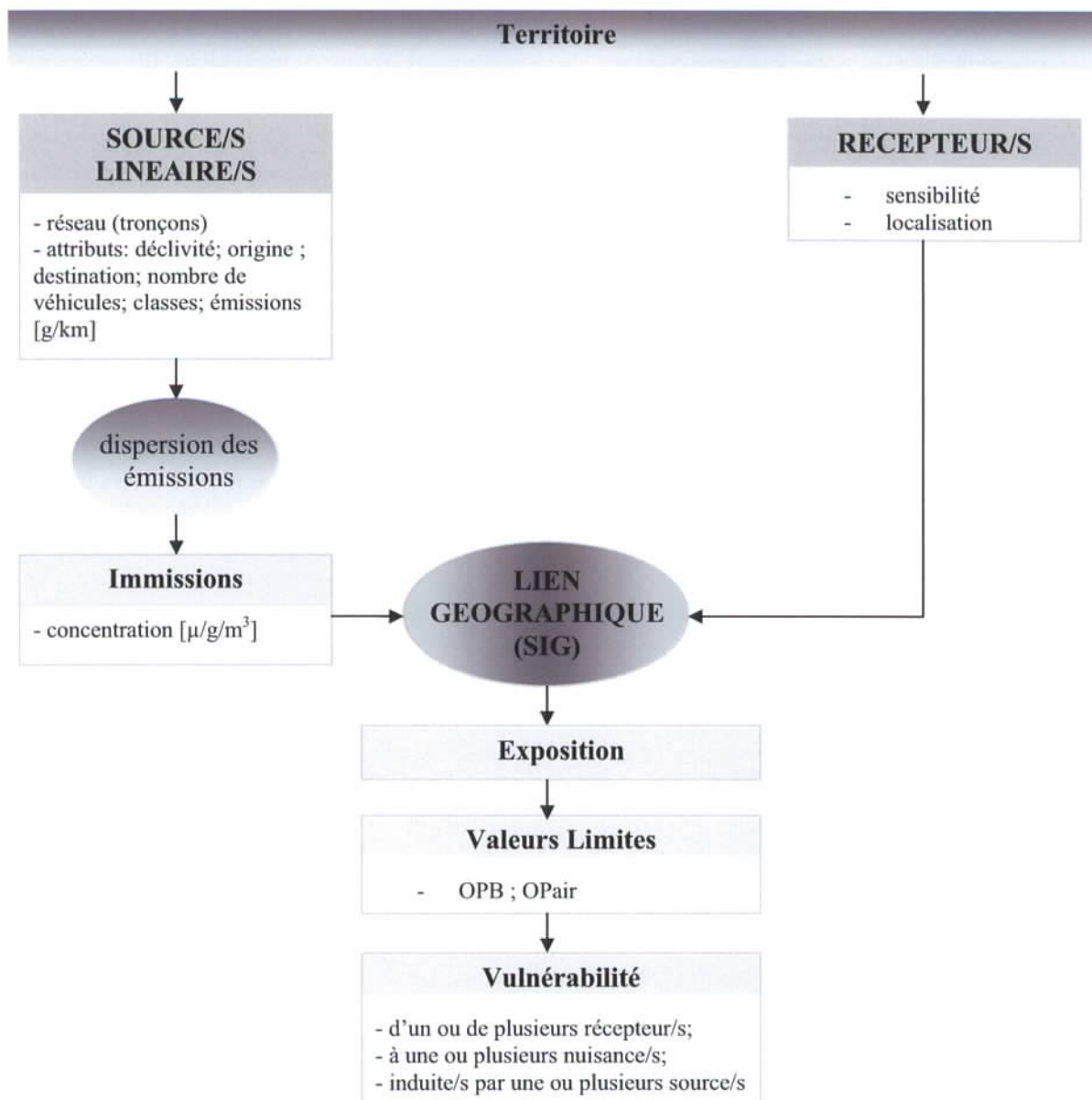


Figure 21 : Le concept de base

4.3.1. Les sources

4.3.1.1. Des sources linéaires

Le réseau de transport est représenté par un ensemble de lignes (tronçons) considérées comme des sources linéaires d'émission.

Les données de base contiennent des informations relatives, par exemple, à la longueur du tronçon et à la catégorie de route (ex. : autoroute, route principale). A ces données sont associées les données relatives aux différents types de trafic.

A partir de ces attributs les émissions sonores et atmosphériques sont calculées pour chaque tronçon.

4.3.1.2. Le trafic « total », « transalpin » et « autre »

Cette méthode permet de distinguer différents types de trafic en fonction des données disponibles et de l'objectif visé. Dans le cadre de cette recherche trois types de trafic sont distingués : le trafic total, le trafic transalpin et le trafic « autre ».

Le trafic total représente l'ensemble du trafic. Il regroupe la totalité du trafic de voyageurs et la totalité du trafic de marchandises. En ce qui concerne le trafic routier, il comprend, le trafic des véhicules lourds, des véhicules légers tels que les voitures de tourisme ou les voitures de livraison, des bus ou encore des motocycles. Le trafic ferroviaire comprend, quant à lui, les trains voyageurs et marchandises.

Le trafic transalpin représente le trafic de marchandises qui franchit les Alpes ; il passe donc par un col ou un tunnel alpin. Ce trafic comprend uniquement des poids lourds marchandises ayant un poids total supérieur à 3,5 tonnes.

Le trafic « autre » est l'ensemble du trafic n'étant pas considéré comme du trafic transalpin de marchandises. Il comprend l'ensemble du trafic de voyageurs et le trafic de marchandises ne transitant pas à travers les Alpes. Ce trafic peut être déduit des deux premiers :

$$\text{trafic « autre »} = \text{trafic total} - \text{trafic transalpin}$$

4.3.2. Les récepteurs

Le terme de récepteur vient du latin *receptor* (de *recipere*) qui veut dire recevoir. Ainsi, un récepteur est un être vivant, une cellule, un dispositif ou tout autre objet qui reçoit quelque chose. Il peut recevoir un courant, une onde, un signal, etc.

Dans le cadre de cette recherche, un certain nombre d'hypothèses sont admises. Ainsi, tout être vivant ou objet composant ou présent sur le territoire est un récepteur car il est susceptible de recevoir une immission sonore ou atmosphérique ou encore de subir les conséquences d'une situation de congestion ou d'un accident.

Tout récepteur a une sensibilité propre (cf. 3.6.1) qui varie en fonction du type de perturbation. Ainsi, la vulnérabilité d'un récepteur vis-à-vis d'une immission de même type et de même importance diffère selon sa sensibilité. L'intérêt à considérer un certain récepteur dépend des conséquences directes que peut avoir une nuisance sur ce récepteur et donc de la prédominance de la vulnérabilité environnementale, sociale ou économique. Bien qu'une conséquence directe et donc une vulnérabilité prédominante puisse être associée à chaque récepteur, le récepteur peut refléter d'autres types de conséquences. Par exemple, la pollution des eaux souterraines, par un déversement d'hydrocarbures suite à un accident, a une conséquence environnementale directe et des conséquences économiques et sociales indirectes.

Finalement, de nombreux récepteurs peuvent être identifiés à partir des nuisances induites par le trafic. Les principaux récepteurs identifiés sont les eaux souterraines et de surface, le sol, la végétation, la faune, les bâtiments et monuments historiques, les zones agricoles, les animaux d'élevage, l'activité touristique, les biens immobiliers ou encore les entreprises (cf. Annexe 7).

L'évaluation de la vulnérabilité des différents récepteurs présents sur un territoire est une première étape permettant d'évaluer la vulnérabilité d'un territoire.

4.3.3. Le lien géographique

Le troisième élément de la méthodologie est le lien géographique entre les sources et les récepteurs. Ce lien repose sur la modélisation de la dispersion des émissions et sur la relation spatiale entre les immissions, les récepteurs et les autres caractéristiques du territoire.

L'intérêt de ce lien géographique est qu'il permet de mesurer des indicateurs ou, plus précisément, des critères (indicateurs qui remplacent tous les autres) de vulnérabilité des récepteurs vis-à-vis des différents types de trafic (cf. Figure 22). Ainsi, les conséquences liées à une variation du volume ou de la structure du trafic peuvent être modélisées.

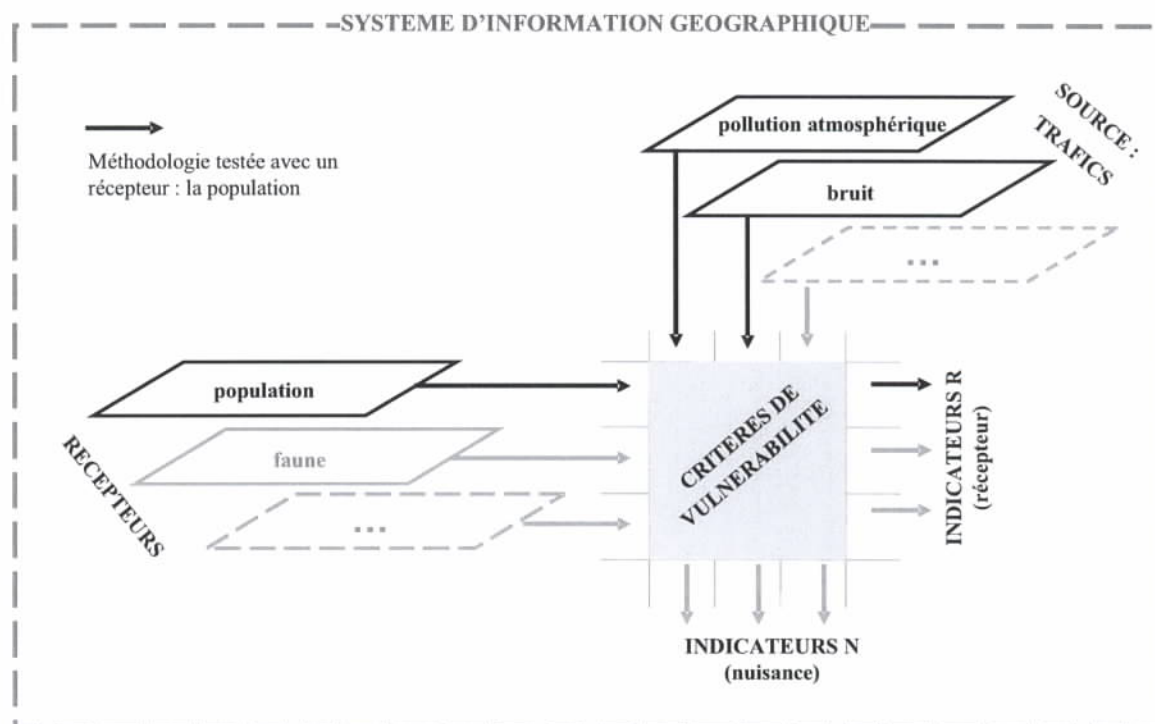


Figure 22 : Le lien géographique

4.3.4. Les zones homogènes

Le concept qui est à la base de la méthodologie intègre une approche par zones homogènes. Cette approche a pour but principal de permettre des comparaisons entre les différents types de zones et entre les zones ayant des caractéristiques semblables. Elle permet également d'envisager une pondération des résultats en fonction du type de zone concerné.

Les zones homogènes sont définies à partir d'un certain nombre de critères et en fonction des objectifs visés. Dans le cadre de cette recherche, elles sont définies en fonction de l'altitude, de la déclivité du terrain et de la densité de la population. A partir de ces critères une distinction est faite entre les zones urbaines de montagne, les zones rurales de montagne, les zones urbaines de plaine et les zones rurales de plaine.

Cette distinction permet de procéder à une comparaison des résultats obtenus dans des régions ayant des caractéristiques parfois bien différentes. Ainsi, les résultats obtenus dans différentes vallées alpines ou encore dans différentes zones urbaines peuvent être comparés.

Les résultats obtenus dans une vallée alpine étant difficilement comparables aux résultats relatifs à une zone urbaine, le concept des zones homogènes permet également d'envisager une pondération des résultats en fonction de la plus ou moins grande sensibilité attribuée à la zone considérée (JOERIN 1997). Cette pondération ne sera pas réalisée dans le cadre de cette recherche.

4.4. Les critères de vulnérabilité

L'hypothèse selon laquelle l'évaluation de la vulnérabilité d'un territoire (région) traversé passe par l'évaluation de la vulnérabilité des différents récepteurs composant ou étant présents sur le territoire en question, est admise. Dans ce contexte des indicateurs (critères) de vulnérabilité sont recherchés pour les récepteurs les plus représentatifs (cf. Annexe 7).

4.4.1. Cadre conceptuel

Compte tenu de l'absence de méthode formellement établie, le système d'indicateurs, ébauché dans cette étude, s'inspire du cadre conceptuel se basant sur les objectifs et l'approche scénario (cf. 2.1.3.2).

Le système d'indicateurs découle ainsi de la compréhension des processus à l'origine du problème et d'un ensemble d'objectifs. La définition du système repose sur un ensemble de définitions telles que les définitions relatives au développement durable, au transport durable ou encore à la vulnérabilité (cf. 3.6), de concepts et d'objectifs (cf. 1.2).

En plus de la définition d'indicateurs (critères), cette recherche développe une méthode permettant d'établir différents scénarios et de vérifier si le système évolue dans le sens souhaité et répond aux objectifs.

4.4.2. Choix des critères de vulnérabilité

Afin de mesurer la vulnérabilité du territoire, et donc de certains récepteurs aux nuisances induites par les trafics routier et ferroviaire, des indicateurs (critères) de vulnérabilité sont choisis.

Le choix des critères de vulnérabilité dépend des objectifs, des connaissances scientifiques les plus récentes (littérature, avis d'experts), de la disponibilité des données ou encore de la facilité de leur acquisition. Bien que la plus grande objectivité soit recherchée, le choix de critères de vulnérabilité demeure en partie subjectif.

Les connaissances scientifiques permettent de connaître la sensibilité des différents récepteurs aux différentes nuisances. Dans cette étude, il est admis que les êtres humains sont susceptibles d'être vulnérables au bruit.

Dans le cas de la pollution de l'air, différents types de polluants doivent être choisis en fonction du récepteur considéré. En effet, alors que les êtres humains ou les animaux sont particulièrement vulnérables aux immissions de particules (cancérogènes) et de NO_x (irritation du système respiratoire), la végétation est principalement vulnérable aux NO_x et à l'ozone, le sol au plomb et les monuments historiques aux suies (cf. Annexe 1).

Les critères de vulnérabilité une fois choisis, il convient de décider la manière de les mesurer. Dans cette recherche, la vulnérabilité d'un récepteur à une nuisance est mesurée à partir de la corrélation spatiale observée entre la présence et l'importance d'une certaine nuisance, et la présence et l'importance d'un certain récepteur sur le territoire considéré.

Les valeurs limites d'immissions ou valeurs seuils apparaissent intéressantes afin de mettre en évidence les récepteurs soumis à des valeurs d'immissions (ou autres valeurs relatives aux nuisances) trop élevées et donc susceptibles de leur porter atteinte.

4.4.3. Critères environnementaux, sociaux et économiques

En général, il est possible de définir pour chaque récepteur s'il est représentatif d'une vulnérabilité de type environnementale, sociale ou économique et ceci vis-à-vis d'une ou plusieurs nuisances.

Les nuisances à l'origine d'une modification du milieu (air, sol, eau) peuvent avoir des conséquences sur la végétation, la faune ou sur la population (cf. 3.2). Les impacts sur le milieu et, par conséquent sur la mésologie, peuvent être considérés comme représentatifs de la vulnérabilité environnementale du territoire.

Les impacts sur le patrimoine naturel et historique, qui se distinguent des impacts précédents, peuvent quant à eux être représentatifs de la vulnérabilité sociale du territoire. Cette dernière peut également être évaluée à partir des inégalités environnementales observées au sein de la société (ex. : vulnérabilité des personnes en fonction de leur revenu).

Les nuisances induites par le trafic peuvent également avoir un impact sur l'activité touristique, sur la valeur des biens immobiliers, sur le rendement des entreprises ou encore sur les activités agricoles ou d'élevage. Pouvant subir un impact économique, ces récepteurs peuvent être représentatifs de la vulnérabilité économique du territoire.

La Figure 23 présente une synthèse des différents récepteurs susceptibles d'être affectés par une ou plusieurs nuisances et dont l'impact peut être représentatif de la vulnérabilité environnementale, sociale ou économique du territoire.

récepteur	nuisance	vulnérabilité
sol	accident, pollution de l'air	environnementale
eaux souterraines et de surface	accident	environnementale
végétation	accident, pollution de l'air	environnementale
faune	accident, pollution de l'air	environnementale
population	pollution de l'air, bruit, congestion	environnementale
population	inégalités environnementales	sociale
patrimoine naturel	pollution de l'air	sociale
monuments historiques	pollution de l'air	sociale
activité touristique	bruit	économique
biens immobiliers	bruit	économique
entreprises	congestion	économique
activités agricoles ou d'élevage	accident, pollution de l'air	économique

Figure 23 : Vulnérabilité des récepteurs aux différentes nuisances

Bien qu'il soit possible d'associer une vulnérabilité environnementale, sociale ou économique à chaque récepteur, les trois dimensions du concept de développement durable ne peuvent toutefois pas être dissociées. En effet, quel que soit le type de vulnérabilité associée au récepteur, un impact sur ce récepteur est susceptible d'avoir des conséquences indirectes sur les deux autres dimensions du développement durable. Ainsi, par exemple, un impact sur la

population ou sur les monuments historiques implique indirectement des conséquences économiques (coût de la santé ; coût de rénovation) ou encore un impact sur la valeur des biens immobiliers peut avoir indirectement des conséquences sociales (localisation différenciée des personnes à revenus élevés et des personnes à faibles revenus).

4.4.4. Critères temporels et spatiaux

4.4.4.1. Critères « inter »

Les critères de vulnérabilité faisant référence à la dimension temporelle du développement durable ou encore à la notion d'équité intergénérationnelle (cf. 3.5.3.2 et 3.5.4) sont désignés sous le terme de critères « inter ».

Ces critères doivent permettre de suivre l'évolution à long terme et à une échelle nationale voire internationale de la vulnérabilité. Dans le cadre de cette recherche, ils permettent de voir l'effet à long terme d'une modification de la répartition modale et/ou spatiale du trafic transalpin de marchandises.

Seules les nuisances pouvant avoir un impact à cette échelle sont considérées. Ces nuisances comprennent notamment la congestion, qui peut parfois avoir un impact économique au-delà d'une région et d'un tronçon routier, ainsi que certains polluants atmosphériques telles que les émissions de gaz à effet de serre et notamment de gaz carbonique (CO₂) qui sont à l'origine d'une modification du climat à l'échelle planétaire.

4.4.4.2. Critères « intra »

Les critères de vulnérabilité se référant à la dimension territoriale ou spatiale du développement durable ou encore à la notion d'équité intragénérationnelle (cf. 3.5.3.2 et 3.5.4) sont désignés sous le terme de critères « intra ».

Ces critères se basent directement sur des mesures à l'échelle locale et concernent les nuisances telles que la pollution de l'air, le bruit, la congestion et l'insécurité (accidents). Concernant la pollution de l'air, seuls les polluants atmosphériques ayant un impact à cette échelle sont considérés. C'est notamment le cas des particules ou encore des NO_x.

Les critères « intra » permettent :

- de comparer la situation au niveau de différentes régions (cantons, zones tampons¹⁷⁶ (corridors), types de zone) ;
- d'obtenir un indicateur au niveau national ou international qui permet de suivre l'évolution de la situation au niveau local ;
- d'observer l'évolution des vulnérabilités sur le court terme (au sein d'une même génération) à l'échelle nationale afin d'identifier un certain équilibre ou au contraire une augmentation ou diminution des inégalités entre les différentes régions considérées ;
- de voir l'effet sur le court terme (au sein d'une même génération) d'une modification de la répartition modale et/ou spatiale du trafic transalpin de marchandises.

¹⁷⁶ Une zone tampon (buffer en anglais) est « a zone around a map feature measured in units of distance or time. A buffer is useful for proximity analysis. » GIS dictionary ArcGIS

4.5. Validation de la méthodologie par une application concrète

Compte tenu de l'envergure de la tâche, des ressources à disposition et des limites financières liées à l'acquisition de certaines données, cette méthodologie ne peut pas être appliquée à l'échelle du « segment alpin » dans le cadre de cette recherche.

Afin de valider la méthodologie développée, cette dernière est testée à l'échelle de la Suisse. Dans ce cadre, seul le récepteur « population » et les pollutions sonores et atmosphériques induites par les trafics routier et ferroviaire sont considérées.

4.5.1. La Suisse

Bien que le territoire national puisse paraître encore relativement vaste pour tester cette méthode, le choix de cette échelle est motivé par plusieurs raisons.

Il est motivé par l'objectif principal qui est d'évaluer l'effet du trafic transalpin de marchandises mais également d'un report modal et/ou spatial de ce trafic. Or, pour tester une hypothèse de transfert modal et/ou spatial du trafic transalpin de marchandises, des itinéraires ayant une même origine et une même destination doivent être considérés.

Il est nécessaire de cerner les difficultés et les limites liées au traitement de données de taille relativement importante et de trouver un compromis entre la précision des résultats et les ressources (notamment les ressources informatiques).

4.5.2. La population

Bien que la méthodologie soit conçue de manière à pouvoir être appliquée à différents récepteurs, cette dernière est testée sur un seul récepteur à savoir la population.

Le récepteur « population » est intéressant car il est le seul, parmi les récepteurs identifiés, à être concerné par les principales nuisances induites par le trafic à savoir la pollution de l'air, le bruit et la congestion (cf. Figure 23).

Représentatives d'une vulnérabilité environnementale, les valeurs limites d'immissions relatives au bruit et à la pollution de l'air, associées à ce récepteur, se calquent sur les recommandations les plus sévères de l'OMS. Elles sont fixées pour protéger l'ensemble de la biosphère et non uniquement la santé humaine qui semble mieux supporter des expositions semblables.

A partir du critère de vulnérabilité au bruit et du critère de vulnérabilité à la pollution de l'air, la vulnérabilité sociale, liée à la présence d'inégalités environnementales, peut également être appréciée en comparant la situation observée dans différentes régions. L'évaluation des conséquences économiques indirectes liées aux coûts médicaux engendrés est également envisageable.

4.5.3. Le bruit et la pollution de l'air

Pour évaluer l'impact du trafic total et du trafic transalpin ainsi que les effets induits par un transfert modal et/ou spatial du trafic transalpin de marchandises au niveau national voire international, le critère de vulnérabilité « inter », le plus pertinent selon la littérature et les experts, est la quantité d'émissions de CO₂. Ce critère permet en effet d'évaluer la participation du trafic aux émissions de gaz à effet de serre et par conséquent au changement climatique et à son impact sur le long terme et les générations futures.

L'impact du trafic, ainsi que l'effet d'un transfert modal et/ou spatial du trafic transalpin de marchandises, peuvent également être évalués à partir de deux critères « intra » mesurés au niveau local.

Concernant la population, le critère de vulnérabilité « intra » au bruit peut être estimé à partir du nombre de personnes soumises à des immissions supérieures aux valeurs limites fixées pour les immissions sonores. Ce critère permet d'évaluer la qualité de vie ou le bien-être de la population.

Le critère de vulnérabilité à la pollution de l'air et, plus précisément, aux immissions de particules est complémentaire puisqu'il permet d'estimer l'impact sur la santé des êtres humains.

Selon la littérature et les experts, les particules respirables s'avèrent être cancérogènes et sont désormais considérées comme le polluant le plus préoccupant à l'heure actuelle et dans le futur. Alors que les émissions de SO₂ ont pu être réduites par des mesures prises à la source et que des solutions sont envisagées pour diminuer les émissions de NO_x, aucune solution n'a encore été trouvée pour réduire les émissions de particules.

Comme pour le critère relatif aux immissions sonores, le critère de vulnérabilité « intra » à la pollution de l'air peut être estimé à partir du nombre de personnes soumises à des immissions supérieures aux valeurs limites d'immissions fixées pour le polluant en question.

4.5.4. Les différents niveaux d'évaluation

Finalement, l'évaluation de la vulnérabilité d'un territoire, au moyen des différents critères de vulnérabilité, peut être réalisée à différentes échelles.

Dans le cadre de cette recherche, les critères « intra » sont calculés au niveau cantonal, au niveau des zones tampons¹⁷⁷ (corridors) et au niveau des zones homogènes à savoir les zones urbaines de montagne, les zones urbaines de plaine, les zones rurales de montagne et les zones rurales de plaine.

L'ensemble des critères peut être évalué au niveau national afin de quantifier l'impact à long terme (« inter ») et l'impact au sein de la génération actuelle (« intra »).

¹⁷⁷ Note de bas de page ¹⁷⁶

Chapitre 5. Disponibilité et acquisition des données

5.1. Inventaire des données pour le « segment alpin »

La méthode étant développée pour être applicable au niveau du « segment alpin », un inventaire des données disponibles à cette échelle et dans les différents pays alpins est effectué (cf. Annexe 5). Les données existantes à l'échelle du « segment alpin » ou dans les différents pays alpins sont utilisées en priorité pour tester la méthode à l'échelle de la Suisse.

5.1.1. Le réseau

Concernant le réseau routier et ferroviaire, il existe des données à l'échelle mondiale ou à l'échelle européenne (cf. EUROPE de l'Annexe 5).

Parmi les données disponibles à l'échelle européenne, deux jeux de données se distinguent par leur précision. En effet, les données « Tele Atlas Multinet » et « Navtech-Navstreets Base » conviennent à une échelle comprise entre 1: 25000 et 1: 50000. Au niveau planimétrique ces données présentent une résolution de 25 mètres voire d'environ 5 mètres en zone urbaine.

Ces produits contiennent différentes couches de données vectorielles représentant le réseau routier, le réseau ferroviaire mais également d'autres objets tels que les intersections et les parkings ou aires de stationnement.

5.1.2. Le trafic routier et ferroviaire

Concernant le trafic routier et ferroviaire, il existe deux principales bases de données à l'échelle européenne à savoir la base de données statistique de la CEMT et la base de données d'Eurostat. Ces bases de données, qui permettent de mieux connaître les transports internationaux grâce à l'élaboration de matrices origine/destination pour différents modes de transport ou grâce à des enquêtes, apparaissent comme trop globales pour être utilisées dans le cadre de cette recherche (CEMT 2001).

Des données plus précises relatives au trafic routier et ferroviaire sont disponibles à l'échelle nationale (cf. SUISSE/FRANCE/AUTRICHE/ITALIE de l'Annexe 5).

Mentionnons toutefois qu'au nom de la confidentialité il est de plus en plus difficile d'acquérir les données ferroviaires: *« ces données commencent à être plus difficiles à collecter en raison de la confidentialité avancée pour des raisons commerciales par les réseaux »* (CEMT 2001). Si tel est le cas, il est possible d'obtenir des informations relatives à la fréquence et aux types de trains circulant sur les différents tronçons ferroviaires à partir des horaires graphiques disponibles dans chaque pays.

À l'échelle du « segment alpin », il existe des données relatives aux trafics routier et ferroviaire transalpins de marchandises. En effet, dès l'ouverture du tunnel routier du Gothard en 1980, des enquêtes sont effectuées chaque année. Depuis 1994 une enquête détaillée appelée CAFT « Cross Alpine Freight Traffic »¹⁷⁸ (cf. EUROPE de l'Annexe 5) est réalisée tous les cinq ans (1994, 1999, 2004).

« Les statistiques relatives au trafic transalpin sont probablement parmi les meilleures en matière de trafic international » (CEMT 2001).

¹⁷⁸ En allemand AQGV « Alpenquerender Güterverkehr »

5.1.3. La population

Pour l'ensemble des pays faisant partie du « segment alpin », des données relatives à la population sont généralement disponibles à l'échelle de la commune. Ces données ont été assemblées dans le cadre de recherches menées au niveau de l'arc alpin (ex. : BÄTZING 2002).

En Suisse, les données relatives au recensement fédéral de la population sont disponibles à une échelle encore plus précise à savoir l'hectare.

5.1.4. Autres données

D'autres données peuvent s'avérer utiles dans le cadre du développement d'une méthode à l'échelle du « segment alpin ». C'est notamment le cas des données (altitude ; déclivité) issues d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) ou des données relatives à l'utilisation du sol qui permettent de géoréférencer et de caractériser un certain nombre de récepteurs (ex. : végétation).

Il existe à l'échelle du globe (60° latitude nord - 56° latitude sud) un Modèle Numérique de Terrain nommé « Modèle global SRTM30 ». Développé par l'United States Geological Survey (USGS) et la NASA, la résolution des mailles de ce modèle est d'environ 1 kilomètre. Des MNT d'une résolution plus fine pouvant aller jusqu'à 25 mètres sont disponibles dans les différents pays alpins (cf. SUISSE/FRANCE/AUTRICHE/ITALIE de l'Annexe 5).

Un inventaire de l'occupation du sol à l'échelle européenne a été mis sur pied au cours de la deuxième moitié des années quatre-vingt par la Commission des Communautés européennes. CORINE¹⁷⁹ Land Cover décrit la couverture du sol au moyen de 44 catégories (OFS OFEFP 1998). Elle permet ainsi de géoréférencer des récepteurs tels que les forêts, les zones agricoles ou les zones urbanisées. L'échelle de relevé au 1 : 100000 et la plus petite unité cartographiée de 25 hectares ont été retenues.

A l'échelle de la Suisse, des statistiques décrivant l'utilisation du sol à une échelle plus précise existent. Ainsi, par exemple, la statistique suisse de la superficie, élaborée à l'échelle de l'hectare pour les périodes allant de 1979 à 1985 et de 1992 à 1997, compte 74 catégories (ex. : forêts, plantations fruitières, aires de bâtiments, aires industrielles, parcs publics, les cours d'eau).

5.2. Inventaire des données utilisées pour la Suisse

Dans la mesure du possible, des données disponibles au niveau du « segment alpin » sont utilisées pour tester la méthode. Toutefois, compte tenu de la plus grande précision de certaines données existantes au niveau national et ceci dans les différents pays alpins concernés, des données nationales sont parfois préférées (ex. : MNT ; population).

5.2.1. Les données du réseau routier et ferroviaire

Pour la représentation géographique du réseau routier et ferroviaire le choix s'est porté sur les données « Tele Atlas MultinetTM Europe 2003.2 » (TELE ATLAS 2003a).

Le choix de cette base de données cartographique vectorielle repose sur sa disponibilité à l'échelle du « segment alpin », sur la garantie d'un degré élevé de précision (5 mètres dans les

¹⁷⁹ COoRdination des INformations sur l'Environnement

agglomérations urbaines et 25 mètres maximum dans les régions isolées ou dans la campagne) et sur la disponibilité de ces données au sein de l'EPFL (LASIG).

En plus des données relatives aux réseaux routier et ferroviaire, cette base de données contient d'autres objets pouvant s'avérer intéressants à utiliser dans la perspective d'un développement futur de la méthodologie : les stations services, les points de franchissement des frontières, les hôtels ou motels, etc.. De nombreux attributs sont également associés à ces différents objets (ex. : types de route - TELE ATLAS 2003f ; TELE ATLAS 2003g).

5.2.2. Les données de trafic

5.2.2.1. 1999 - 2003

Concernant le trafic routier et ferroviaire les données datant de 1999 et 2000 voire de 2003 sont utilisées pour développer et de tester la méthode. Ce choix est influencé par la disponibilité des données relatives au trafic transalpin de marchandises issues de l'enquête CAFT. En effet, au début de cette recherche, seules les données de l'enquête de 1999 pouvaient être acquises. Celles de l'enquête CAFT de 2004 n'ont finalement été publiées qu'à la fin de l'année 2005.

L'objectif étant de développer une méthode, il est envisageable que, par la suite, les données de 1999 soient remplacées par des données plus récentes.

L'utilisation des données de 1999 n'est pas dérangeante puisque les données suisses relatives à la population datent du dernier recensement fédéral de la population qui a eu lieu en 2000. Cette correspondance amène à considérer des données relatives à l'ensemble du trafic routier et ferroviaire relativement proche dans le temps.

5.2.2.2. Trafic routier total

Les données utilisées, relatives au trafic routier total sur les différents tronçons, proviennent du comptage suisse de la circulation routière 2000. Ces données, élaborées tous les cinq ans depuis 1995, portent sur le trafic journalier moyen (TJM ; TJMO)¹⁸⁰ selon le type de véhicule et l'immatriculation (OFS OFROU SIGMAPLAN 2001a ; OFS OFROU SIGMAPLAN 2001b).

Ces données sont obtenues à partir des pointages manuels effectués aux 461 postes de comptage répartis dans toute la Suisse et des données enregistrées toute l'année par environ 260 compteurs automatiques permanents¹⁸¹. Les véhicules sont enregistrés pendant 5 jours (3 jours ouvrables et 2 dimanches)¹⁸² sur presque tous les postes.

La banque de données se compose de deux tables, l'une contenant les données relatives à chaque poste de comptage (ZAEHLSTELLEN¹⁸³ : numéro du poste de comptage, numéro de la route, nombre de voies, canton, position géographique, prochaine localité, etc.) et l'autre contenant les données relatives au trafic (DATENSSVZ00¹⁸⁴ : numéro du poste de comptage, type de journée, catégorie de véhicule, immatriculation, valeurs de trafic suivant les heures de la journée).

¹⁸⁰ TJM : Trafic Journalier Moyen - moyenne du trafic sur 24 heures de tous les jours de l'année (lundi - dimanche)

TJMO : Trafic Journalier Moyen les jours Ouvrables - moyenne du trafic sur 24 heures des jours ouvrables (lundi - vendredi) exception faite des jours fériés ou des veilles et lendemains de jours fériés (jours spéciaux)

¹⁸¹ Les données des pointages manuels sont extrapolées au moyen des valeurs cibles provenant des compteurs automatiques.

¹⁸² Pendant 6 heures les jours ouvrables (7-9h, 11-12h, 14-15h, 17-19h) et pendant 4 heures les dimanches (matin).

¹⁸³ Table « postes de comptage »

¹⁸⁴ Table « données trafic »

5.2.2.3. Trafic ferroviaire total

Compte tenu des difficultés liées à l'acquisition de données relatives au trafic ferroviaire, les données des horaires graphiques des CFF des années 2002-2003 sont utilisées pour estimer le trafic ferroviaire total sur les différents tronçons.

Le choix s'est porté sur les horaires des années 2002-2003 du fait que ceux-ci présentent relativement peu de différence avec ceux des années 2000-2001 et que ces données sont davantage susceptibles d'être utilisées à d'autres fins au LITEP.

Les horaires graphiques permettent d'estimer le nombre de trains marchandises¹⁸⁵ et le nombre de trains voyageurs circulant dans un sens et dans l'autre la nuit (22h-6h) et le jour (6h-22h) durant les jours ouvrables et ceci sur les différents tronçons. Ces estimations se basent sur le nombre de trains circulant le mardi entre 24h et 1h (nuit) et entre 15h et 16h (jour). Les valeurs obtenues sont ensuite multipliées par 8 pour obtenir le trafic moyen nocturne et par 16 pour obtenir le trafic moyen diurne. Leur multiplication par 264 permet enfin d'obtenir le trafic moyen annuel des jours ouvrables. Ces valeurs tiennent compte des trains facultatifs mais ne considèrent pas les trains de locomotives et les trains de service.

Les valeurs obtenues sont finalement associées aux différents tronçons ferroviaires au moyen du Système d'Information Géographique.

5.2.2.4. Le trafic routier et ferroviaire transalpin de marchandises

En Suisse, les données relatives au trafic transalpin de marchandises proviennent de sources nombreuses et diverses : compteurs automatiques et comptages manuels des poids lourds au niveau des différents points de franchissement alpins, données fournies par les douanes, données du système d'enregistrement de la RPLP, données fournies par les exploitants ferroviaires dont CFF Cargo.

Afin de créer, en plus des bases de données nationales, une base de données d'échange¹⁸⁶ comprenant des données comparables provenant des différents pays alpins, une enquête détaillée est menée au niveau international (Suisse, France, Autriche, Italie). L'enquête CAFT « Cross Alpine Freight Traffic », qui couvre exclusivement le transport routier et ferroviaire transalpin de marchandises, est désormais effectuée tous les cinq ans (1999 ; 2004 – ARE 2005b). Cette enquête représente un point de repère pour les estimations obtenues au niveau des différents pays alpins. La structure et le contenu de la base de données nationale suisse et de la base de données d'échange, sont présentés dans le document de l'ARE et de SIGMAPLAN (ARE SIGMAPLAN 2001).

Les données relatives au trafic routier de marchandises (véhicules dont le poids total est supérieur à 3,5 tonnes), au trafic ferroviaire de marchandises (transport par wagons et TCNA¹⁸⁷) et au trafic combiné accompagné (TCA) sont collectées au niveau des différents passages alpins (cf. Figure 24).

¹⁸⁵ Numéros des trains marchandises: 40000-46999; 49000-55999; 60000-65999; 70000-75999; 80000-85999; 90000-95999

¹⁸⁶ De l'anglais « exchange database ».

¹⁸⁷ Transport Combiné Non Accompagné



Figure 24 : Passages alpins concernés par l'enquête CAFT 1999 (ARE SIGMAPLAN 2001)

Les données du trafic routier transalpin de marchandises proviennent principalement de comptages automatiques (par longueur de véhicule - OFROU¹⁸⁸) et manuels (volume journalier) ainsi que d'interviews menés au niveau des différents passages alpins (ex. : origine/destination, points de franchissement de la frontière, poids du véhicule, type de véhicule, longueur du véhicule, immatriculation du véhicule, catégorie de marchandises transportées, tonnages transportés). Les interviews et les comptages manuels sont réalisés entre 5 heures et 22 heures durant dix jours ouvrables.

Les données ferroviaires sont quant à elles fournies essentiellement par les exploitants ferroviaires (ex. : statistiques de CFF Cargo, enquêtes d'HUPAC AG et d'Intercontainer-Interfrigo ICF). Elles fournissent des informations relatives à la direction du trafic (origine/destination), à la nature du transport, à la catégorie de marchandises transportées, aux tonnages transportés et au nombre de trains qui ont circulés. Les données concernent l'ensemble des jours de la semaine étant donné que les trains marchandises circulent également les week-ends.

L'extrapolation des données et des calculs statistiques permet d'obtenir des estimations relativement fiables concernant le trafic transalpin de marchandises (CEMT 2001).

5.2.3. Les données topographiques

Compte tenu de leur résolution plus élevée, les Modèles Numériques de Terrain disponibles dans les différents pays alpins sont préférés au modèle global SRTM30 dont la résolution des mailles est d'environ 1 kilomètre (cf. 5.1.4).

En Suisse, un Modèle Numérique de Terrain basé sur la carte nationale 1 : 25000 (MNT25) et sur des photographies aériennes est disponible pour l'ensemble du territoire.

¹⁸⁸ Office Fédéral des ROUTES

Proposé sous deux formes (modèle de base ; modèle matriciel), ce modèle reproduit la forme brute de la surface terrestre sans couverture végétale ni bâti. Il a été produit par Swisstopo¹⁸⁹ entre 1984 et 1996 et 2000/2001 pour la région des glaciers. La qualité géométrique du MNT25 correspond à celle de la carte nationale 1:25000 et la précision des informations altimétriques est d'environ 1,5 m sur le Plateau, 2 m dans les Préalpes et le Jura et 3 m dans les Alpes.

Le modèle matriciel de MNT25 est utilisé dans le cadre de cette recherche. Cette matrice d'altitude d'une maille de 25 mètres a été déduite du modèle de base par des interpolations (cf. SUISSE/MNT25 de l'Annexe 5). Cette grille régulière compte 1600 points par kilomètre carré.

A partir du modèle matriciel et au moyen de l'outil « Slope » du logiciel ArcGIS/ArcInfo, la déclivité du terrain peut être obtenue. Cet outil identifie la variation maximale entre la valeur d'une cellule et la valeur des cellules voisines. Il fournit la valeur en pourcent ou en degré (cf. Annexe 6).

5.2.4. Les données relatives aux récepteurs

5.2.4.1. La population

Les données relatives à la population sont disponibles à l'échelle de la commune sur tout le « segment alpin » et également au niveau de l'hectare en Suisse. Compte tenu de l'intérêt que présente une plus grande précision, les données à l'hectare sont utilisées pour tester la méthode.

Depuis 1920 en Suisse, un « recensement fédéral de la population » est réalisé tous les dix ans¹⁹⁰ par l'OFS en collaboration avec les cantons et les communes. Le dernier recensement date de 2000 et comprend un relevé des personnes et des ménages ainsi qu'un relevé des bâtiments et des logements. Le questionnaire individuel, qu'ont reçu toutes les personnes résidant en Suisse (domicile économique¹⁹¹), comprend 21 questions portant sur les données personnelles (nom, prénom, date de naissance), la situation dans le ménage, l'activité professionnelle, les langues parlées, la confession, le lieu de travail ou d'étude, le temps de trajet pour aller au travail ou au lieu d'études et les moyens de transport utilisés (OFS 2001)¹⁹².

Les données du recensement fédéral de la population géoréférencées à l'échelle de l'hectare permettent d'obtenir la densité de la population ainsi que certaines caractéristiques relatives aux personnes.

5.2.4.2. Autres données

Concernant les autres récepteurs susceptibles d'être inclus par la suite dans cette méthodologie, diverses données les géoréférençant et les catégorisant existent au niveau suisse (cf. Tableau 17).

¹⁸⁹ Office fédéral de la topographie

¹⁹⁰ Exception faites des recensements de 1941 et 1950.

¹⁹¹ « Le domicile économique d'une personne se situe dans la commune où elle vit la majeure partie de la semaine, dont elle utilise l'infrastructure et d'où elle se rend quotidiennement à son lieu de travail ou à l'école » (OFS 2001).

¹⁹² Les données du recensement ne peuvent pas être utilisées à d'autres fins que celles de la statistique et sont associées à des mesures de protection (LPD 1992 ; LRFP 1998).

Source	Objets géoréférencés / catégorisés
Utilisation simplifiée du sol de la Suisse (OFS 2001)	différents types de végétation (forêt dense, forêt clairsemée, forêt buissonnante, végétation improductive) différents types de culture (prés et terres arables, prés et pâturages locaux embroussaillés, viticulture, arboriculture fruitière et horticulture, mayens et alpages fauchés, alpages pâturés)
Carte géotechnique simplifiée (OFS 2001)	différents types de sol
Cartes des eaux souterraines et de la protection des eaux (OFEV) Cartes de la qualité des eaux souterraines (OFEV) Secteurs ou périmètres de protection des eaux ou autres zones de protection (OFS 2001 ; OFEV ; OFS ; Swisstopo) GEWISS (système d'information sur les eaux à l'échelle de la Suisse / recense toutes les données d'intérêt national dans ce domaine / OFEV)	eaux souterraines, eaux de surface, cours d'eau
Inventaire Fédéral des Paysages, sites et monuments naturels d'importance nationale (IFP) (OFS 2001)	monuments naturels d'importance nationale
Inventaire Fédéral des Réserves d'oiseaux d'eau et migrateurs d'importance internationale et nationale (OFS 2001) Inventaire fédéral des sites de reproduction de batraciens d'importance nationale (OFEV) Centre Suisse de Cartographie de la Faune (CSCF)	faune, réserves de faune
Carte des biens culturels (Swisstopo)	monuments historiques et architecturaux
Statistique hôtelière suisse Recensement des entreprises (OFS 2001)	activités économiques

Tableau 17 : Données géographiques relatives à divers récepteurs

5.3. Incertitudes et lacunes

Les données de trafic, étant dans certains cas le produit d'estimations, il est essentiel d'utiliser ces données avec prudence et en connaissance de cause. La qualité de certaines de ces données (notamment les données relatives au trafic ferroviaire) pourrait être facilement améliorée.

L'inventaire des données disponibles à l'échelle du « segment alpin » mais également à l'échelle de la Suisse révèle des lacunes. En effet, des données qui s'avèrent indispensables à la conception de la méthode ne sont pas disponibles et nécessitent un travail trop important pour être élaborées dans le cadre de ce travail. C'est le cas des données relatives aux parois antibruit disponibles uniquement au niveau cantonal en ce qui concerne les infrastructures

routières suisses. Bien que ces données aient été acquises auprès de presque l'ensemble des cantons, leur numérisation à l'échelle de la Suisse n'a pas pu être réalisée dans le cadre de ce travail.

Chapitre 6. Modélisation

Ce chapitre présente la méthodologie permettant de répondre aux objectifs de cette recherche (cf. 1.2). Après la présentation des différents modèles développés et de leurs possibilités d'intégration, les hypothèses de départ et les différentes étapes ordonnées de manière logique sont exposées. L'ensemble des traitements décrit est détaillé dans les annexes.

Compte tenu de l'objectif des différents traitements et des différentes versions du logiciel ArcGIS¹⁹³, certains traitements sont effectués directement dans ArcMap (un composant d'ArcGIS) alors que d'autres sont exécutés au moyen de modèles élaborés à l'aide du « ModelBuilder »¹⁹⁴ introduit dans la version 9.0 d'ArcGIS, de scripts¹⁹⁵ développés dans ArcGIS (Visual Basic Editor) et de modèles fonctionnant dans le logiciel Matlab.

L'ensemble des traitements, devant être reproduit dans le cadre de l'élaboration de scénarios, a été développé sous la forme de modèles ou de scripts.

6.1. Modèles

6.1.1. Un ensemble de modèles

Afin d'effectuer plusieurs fois certains traitements, des modèles ont été développés à l'aide du « Modelbuilder » d'ArcGIS. Les 29 modèles élaborés peuvent exécuter jusqu'à plus de 300 traitements (cf. Annexe 8).

La Figure 25 montre sous quelle forme se présente un modèle. Un extrait du modèle (cf. Figure 26) permet de voir que chaque traitement est représenté par un rectangle (ex. : « Delete field » : suppression d'un champ).

¹⁹³ Utilisation de la version 8.3 et de la version 9.1

¹⁹⁴ Disponible sous ArcCatalog, un composant d'ArcGIS.

¹⁹⁵ Note de bas de page ¹⁷⁵

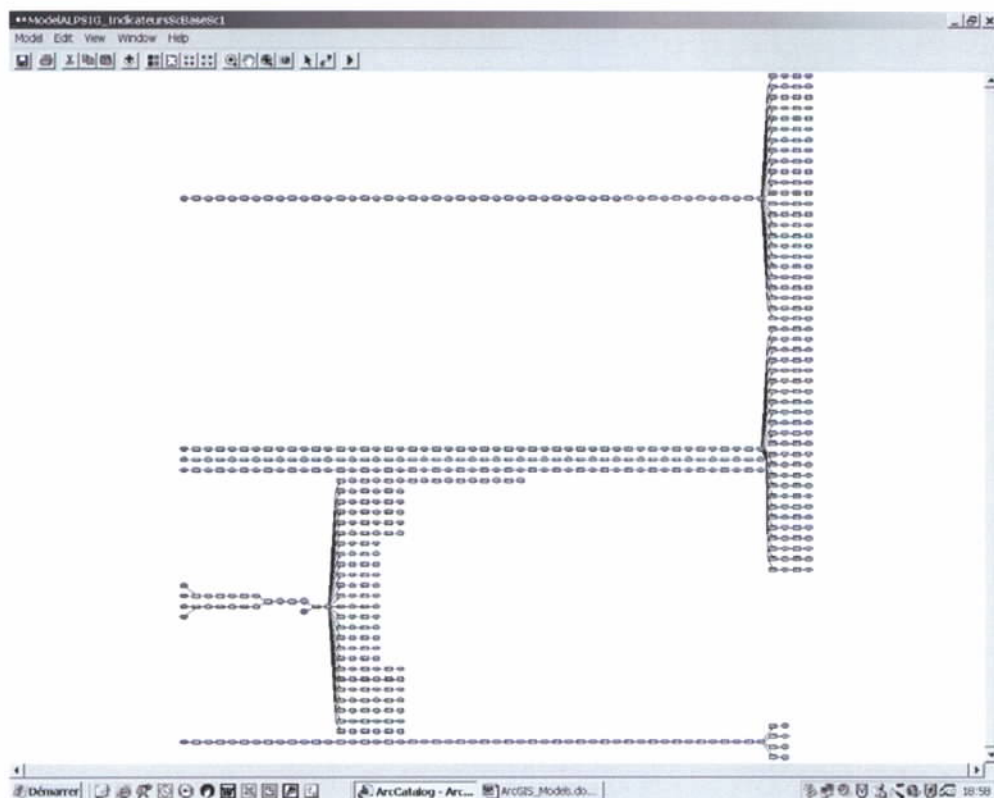


Figure 25 : Modèle « MODELALPSIG_IndicateursScBaseSc1 »

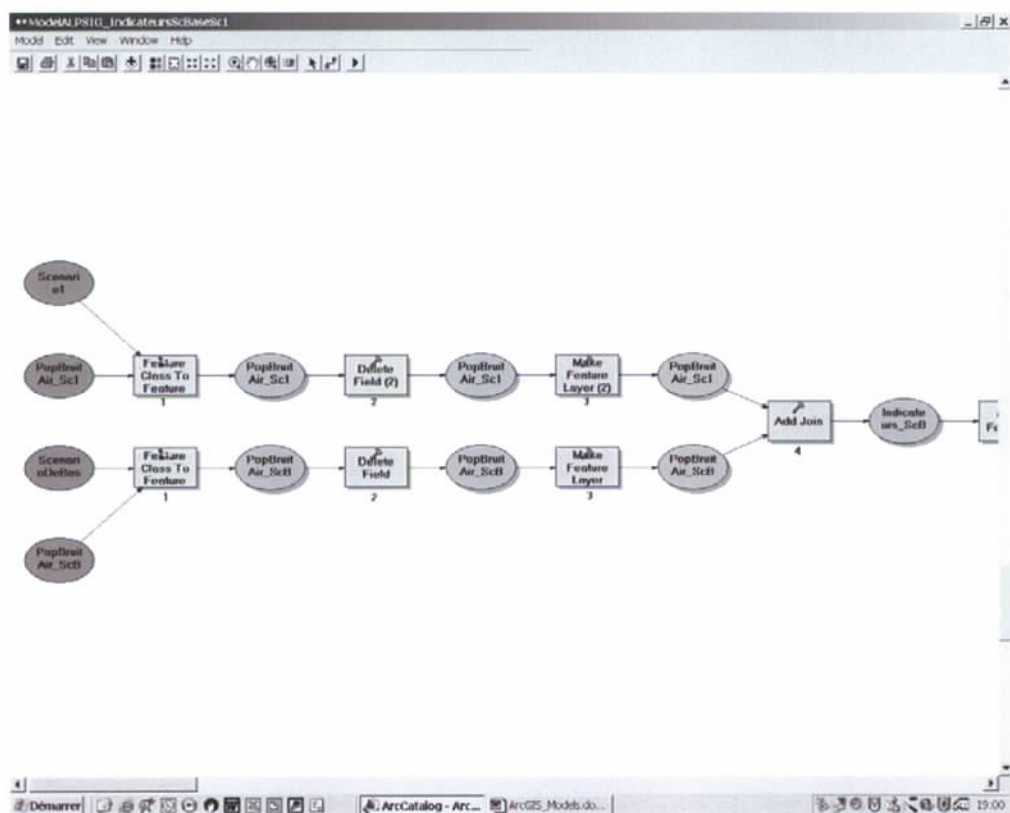


Figure 26 : Extrait du modèle « MODELALPSIG_IndicateursScBaseSc1 »

Trois principales raisons expliquent la création de plusieurs modèles et non d'un modèle unique. La création de plusieurs modèles permet d'organiser et de gérer les différents traitements effectués. Elle permet également d'exécuter un traitement réalisé dans ArcMap ou dans Matlab entre deux de ces modèles. D'autre part, la création de plusieurs modèles s'avère nécessaire étant donné que dès une certaine taille les modèles présentent une certaine lenteur d'exécution lors de leur réalisation.

6.1.2. Les possibilités d'intégration

L'intérêt de ces modèles réside dans le fait qu'ils exécutent non seulement un ensemble de traitements pouvant être reproduit à tout moment mais peuvent aussi être exportés sous forme de code Python, VBScript ou JScript. Il serait alors envisageable que les codes ainsi obtenus soient combinés, complétés et adaptés pour créer un outil d'aide à la décision. De plus, ces modèles pourraient également être associés aux scripts élaborés dans ArcGIS (Visual Basic Editor) ou aux autres scripts utilisés dans la méthode (ex. : « accrocher des points à des lignes »). Le code exécuté dans le logiciel Matlab pourrait aussi être écrit en langage VBA pour être associé aux autres traitements.

Il serait envisageable de créer une interface graphique destinée à lancer les modèles en spécifiant un certain nombre de paramètres.

6.2. Hypothèses de base

6.2.1. Trafic transalpin de marchandises

6.2.1.1. Trafic ferroviaire

Concernant le trafic ferroviaire transalpin de marchandises, un certain nombre d'hypothèses sont posées pour passer de données en tonnes nettes en données en tonnes brutes et en nombre de trains. Ces hypothèses reposent sur deux recherches menées au LITEP (GUGLIELMINETTI 2001 ; RIVIER 1996) ainsi que sur des informations fournies par l'ARE.

Le passage de données en tonnes nettes à des données en tonnes brutes « réelles » nécessite la prise en compte de la tare ferroviaire, routière et intermodale. Dans cet objectif, les hypothèses suivantes sont admises :

- les données fournies sont des tonnes « nettes nettes » et représentent donc uniquement le poids des marchandises transportées et donc aucune tare (les tonnes « nettes » peuvent comprendre une tare telle que celle d'un container ou d'une caisse mobile) – par commodité on garde le terme tonnes nettes;
- la tare ferroviaire, plus éventuellement routière, plus éventuellement des containers et caisses mobiles représentent 40% du poids brut remorqué ;
- donc théoriquement les charges en tonnes nettes représentent 60% du poids brut remorqué.

Pour obtenir des résultats proches de la réalité¹⁹⁶, le taux de remplissage des wagons doit être considéré et, dans ce cadre l'hypothèse selon laquelle le coefficient de remplissage des wagons est en moyenne de 50% (des wagons pouvant être vides ou partiellement remplis) est admise. De ce fait, dans une situation réelle, les charges en tonnes nettes représentent environ 30% du poids brut remorqué et la tare environ 40% (cf. Tableau 18).

	Situation « réelle » (taux de remplissage de 50%)	Situation théorique (taux de remplissage de 100%)
Tonnes nettes (60%)	30% = vide	30% = marchandises
	30% = marchandises tonnes nettes réelles	30% = marchandises
Tare	40% = tare	40% = tare
Tonnes brutes	tonnes brutes réelles 70%	tonnes brutes théoriques 100%

Tableau 18 : Décomposition du calcul des tonnes brutes « réelles » à partir des tonnes nettes

Les tonnes brutes annuelles sont donc calculées de la manière suivante :

$$\begin{aligned} \text{tonnes brutes réelles} &= (\text{tonnes nettes réelles} / 0,3) * 0,7 & (0,7 = 0,3 + 0,4) \\ &= \text{tonnes nettes réelles} * 2,33 & (2,33 = 1/0,3 * 0,7) \end{aligned}$$

L'indice d'une valeur de 2,33 représente un indice de performance. Plus cet indice est faible, plus le taux de remplissage est important. Ainsi, pour un même tonnage de marchandises transporté la tare est plus faible et le transport des marchandises est plus performant.

Bien que le transport de marchandises par le rail ait également lieu durant les week-ends, les tonnes brutes moyennes sont calculées pour les jours ouvrables (264 jours ouvrables par année). Ce choix repose sur la volonté de comparer un nombre de jours similaire pour les transports ferroviaire et routier.

Afin d'estimer le poids moyen d'un train marchandises, les hypothèses suivantes sont admises (cf. Tableau 19):

- le trafic transalpin de marchandises est assuré par des trains simples composé d'une charge brute remorquée maximale de 1400 tonnes brutes (40% de tare / 60% de tonnes nettes / taux de remplissage de 100% - transport de 840 tonnes nettes) ;
- le poids moyen « réel » de ces trains est de 980 tonnes brutes (40% de tare / 60% de tonnes nettes / taux de remplissage moyen de 50% - transport de 420 tonnes nettes) soit 70% du poids théorique de ces trains (1400 * 0,7 ou 420 * 2,33).

¹⁹⁶ La situation « réelle » correspond à une estimation moyenne. Elle se base sur la situation observée actuellement. Elle tient notamment compte du fait que les trains ne sont pas toujours remplis à 100% mais qu'ils peuvent être remplis partiellement ou peuvent parfois être vides.

	Situation « réelle » (taux de remplissage de 50%)	Situation théorique (taux de remplissage de 100%)
Tonnes nettes	= 0 tonnes	= 420 tonnes (30%)
(60%)	= 420 tonnes (43%)	= 420 tonnes (30%)
Tare	= 560 tonnes (57%)	= 560 tonnes (40%)
Tonnes brutes	= 980 tonnes (100%)	= 1400 tonnes (100%)

Tableau 19 : Décomposition du calcul du poids moyen d'un train marchandises

Le nombre annuel de trains simples est donc calculé de la manière suivante:

$$\text{nombre de trains} = \text{tonnes brutes} / 980$$

La performance des trains simples est susceptible d'augmenter et de se rapprocher de la situation théorique grâce à un taux de remplissage plus élevé. La tare est donc susceptible de représenter un pourcentage moins important si davantage de marchandises sont transportées par ce train simple. Le coefficient de 2,33 est donc susceptible de diminuer.

A l'avenir il pourrait y avoir des trains doubles. Pour ces trains, le taux de remplissage devrait être probablement plus élevé (trains rassemblant des marchandises provenant de différentes origines ou transportant des masses importantes) et leur poids devrait donc se rapprocher de la situation théorique.

6.2.1.2. Trafic routier

Les données relatives au trafic routier transalpin de marchandises font référence aux tonnes brutes (poids du véhicule + poids des marchandises transportées) et au nombre moyen de véhicules lourds circulant les jours ouvrables de l'année 1999 (DWV : Durchschnittlicher WerktagsVerkehr).

Dans le cadre de cette recherche, l'hypothèse selon laquelle il y a 264 jours ouvrables durant une année civile est admise. Cette hypothèse repose sur le fait que 1318000 véhicules ont circulé à travers les Alpes en 1999 dont en moyenne 4991 véhicules les jours ouvrables (ARE 2000a).

Afin de disposer des données annuelles, les données journalières sont multipliées par 264.

6.2.2. Les tunnels

Dans le cadre de cette recherche, l'hypothèse selon laquelle les émissions sonores et atmosphériques sont nulles au niveau des tunnels est admise. Cette simplification de la réalité, faite en connaissance de cause, est nécessaire compte tenu des ressources à disposition.

L'intégration dans la méthode de la modélisation des émissions et immissions aux portails des tunnels est toutefois envisageable. Plusieurs études ont été menées pour la modélisation des émissions et immissions aux portails des tunnels tant en ce qui concerne le bruit émis par le trafic routier (ex. : OFROU 1983 ; publications de l'EMPA)¹⁹⁷ ou ferroviaire (ex. : OFEFP 1989 ; modèle de bruit SEMIBEL¹⁹⁸) que les polluants atmosphériques émis par le trafic routier (ex : STAEHELIN et al. 1995; STAEHELIN et al. 1998; JOHN et al. 1999; COLBERG et al. 2005).

¹⁹⁷ « Le modèle SonRoad n'offre aucun procédé spécifique pour calculer le rayonnement du bruit par les portails de tunnel » (OFEFP 2004).

¹⁹⁸ Schweizerisches Emissions- und Immissionsmodell für die Berechnung von Eisenbahnlärm (OFEFP 1990)

Afin d'identifier les tronçons correspondant à un tunnel, une intersection est faite entre les données du réseau et les données relatives aux tunnels (cf. Annexe 19 et Annexe 20) qui proviennent également de la base de données de TeleAtlas (cf. Annexe 9).

6.3. Traitement des données de base

6.3.1. Le réseau

Les données de base représentant le réseau, bien qu'elles soient stockées sous forme géoréférencée, ont été créées à l'aide d'un outil DAO¹⁹⁹ et non SIG. De ce fait, ces données sont retravaillées afin que les différents traitements prévus par la méthode puissent leur être appliqués et que ces données soient compatibles avec le script qui permet d'associer les données relatives aux trafics routier et ferroviaire transalpins de marchandises aux différents tronçons (cf. 6.4.1.1).

Les modifications apportées concernent principalement la structure du réseau, notamment son découpage et la création d'une topologie²⁰⁰.

Les traitements effectués sur le réseau ferroviaire et sur le réseau routier diffèrent un peu étant donné l'utilisation de versions différentes du logiciel ArcGIS (ArcGIS 8.3 pour le rail ; ArcGIS 9.0 pour la route). L'ensemble des traitements décrit ci-dessous est détaillé dans l'Annexe 11.

Dans un premier temps, une topologie permettant de mettre en relation les différents tronçons est créée pour chacun des réseaux. Concernant le réseau ferroviaire, la topologie est créée au moyen de l'outil « Clean » alors que pour le réseau routier elle est créée lors de l'élaboration d'un réseau géométrique²⁰¹ (disponible dans la version plus récente d'ArcGIS). Des corrections manuelles sont également parfois apportées afin que l'ensemble du réseau soit cohérent.

Des traitements supplémentaires sont effectués sur le réseau routier compte tenu de la nécessité de fusionner les couches relatives aux différentes catégories de routes²⁰². Les autoroutes et parfois les routes principales étant représentées au moyen de deux lignes (voies), un outil²⁰³ est utilisé afin de créer une ligne centrale unique. Le résultat de ce traitement n'étant pas satisfaisant sur l'ensemble du territoire, des vérifications et parfois des corrections manuelles sont apportées.

Les données du trafic transalpin de marchandises tant routier que ferroviaire se présentent sous la forme de deux tables, l'une contenant les nœuds (origine/destination) et leurs coordonnées géographiques et l'autre le trafic circulant entre deux nœuds et ceci dans les deux sens. Afin que les données du trafic transalpin soient correctement affectées sur les réseaux, il est nécessaire de découper ces derniers au niveau des nœuds représentant les origines et destinations.

Dans cet objectif, les nœuds respectivement ferroviaires et routiers sont importés dans ArcGIS et accrochés au réseau au moyen d'un script²⁰⁴ mis à disposition par ESRI France. Dans le cas du réseau routier, cet accrochage tient compte des différentes catégories de route.

¹⁹⁹ Dessin Assisté par Ordinateur

²⁰⁰ Structure spatiale des données ; ensemble de règles et de relations qui permet à la base de données de modéliser avec précision les relations observées dans la réalité.

²⁰¹ Création notamment de données ponctuelles représentant les jonctions.

²⁰² Traduction de l'anglais : autoroutes ; routes principales ; autres routes principales ; routes secondaires ; routes locales

²⁰³ Outil « Collapse dual lines to centreline »

²⁰⁴ Outil « Accrocher des points à des lignes »

Une fois les nœuds « accrochés » obtenus, le réseau est découpé²⁰⁵ au niveau de chaque nœud et également au niveau de chaque jonction en ce qui concerne le réseau routier.

A chaque nœud sont associés un attribut relatif à l'altitude et un attribut relatif à la commune dans laquelle il se trouve.

6.3.2. La population

Les données relatives à la population sont obtenues auprès de l'OFS. Ces données ponctuelles (360431 points) sous forme de fichier texte (.txt) sont importées dans le SIG à l'aide d'une grille hectométrique fournie par ce même office (cf. Annexe 10).

Trois attributs sont ajoutés à ces données ponctuelles (cf. Annexe 10). Un champ commun est ainsi ajouté à l'ensemble des enregistrements. De plus, un attribut relatif au canton (données de l'OFS) dans lequel se trouve chaque point et un attribut relatif aux zones tampons²⁰⁶ (cf. 7.1) sont ajoutés.

La couche ainsi obtenue est utilisée par la suite pour l'ensemble des scénarios.

6.4. Distinction et association des trafics au réseau

6.4.1. Le trafic « transalpin »

6.4.1.1. Le trafic routier et ferroviaire

Les données relatives au trafic routier et ferroviaire transalpin de marchandises sont représentées sous la forme d'une couche de points géoréférencés (table/couche « nœuds »²⁰⁷) et d'une table contenant les valeurs de trafic observées entre les différents nœuds (table/couche « tronçons »)²⁰⁸.

Les tables fournies par l'ARE doivent être travaillées dans le logiciel Access afin d'assurer leur cohérence. Des requêtes de non correspondance sont effectuées afin que la table nœuds contienne uniquement des nœuds correspondant à une origine (NOD_a) et à une destination (NOD_b) dans la table tronçon (1017 nœuds routiers et 409 nœuds ferroviaires).

La géométrie relative aux différents tronçons de la table tronçon n'étant pas stockée, il est nécessaire de concevoir un script²⁰⁹ qui permette de rechercher le plus « court »²¹⁰ chemin entre deux nœuds et de créer une nouvelle géométrie à partir des données représentant le réseau. Cette dernière est stockée dans une nouvelle classe d'objets de type polyligne avec les attributs de la table tronçon.

Pour faire fonctionner ce script écrit dans ArcGIS (Visual Basic Editor) et stocké dans un projet ArcMap (cf. Annexe 12), un réseau géométrique est créé dans une nouvelle base de données à partir de la table nœuds et de la table tronçon (respectivement de la route et du rail). Une nouvelle classe d'objets de type polyligne, contenant les mêmes attributs que la table tronçon, est également créée.

²⁰⁵ Outil « Découper les lignes par des points »

²⁰⁶ Note de bas de page ¹⁷⁶

²⁰⁷ Une table contient des objets qui ne sont pas associés à une géométrie contrairement à une couche. Cela explique pourquoi les deux termes peuvent être employés.

²⁰⁸ Distinction du sens de circulation.

²⁰⁹ Note de bas de page ¹⁷⁵

²¹⁰ Le plus court chemin peut être le plus court chemin en distance, en temps ou en fonction d'autres paramètres relatifs au réseau parcouru (critères de pondération).

Le script développé permet de parcourir en boucle l'ensemble des tronçons compris dans la table tronçons, de rechercher le nœud correspondant à l'origine (NOD_a) et celui correspondant à la destination (NOD_b) (géoréférencement au moyen de la table noeuds) et de rechercher le chemin le plus court entre ces nœuds. Les tronçons du réseau composant le chemin le plus court sont alors sélectionnés et cette nouvelle géométrie est stockée dans une nouvelle table. Ce script est exécuté respectivement pour les données relatives aux trafics ferroviaire et routier.

La recherche du chemin le plus court peut être réalisée en fonction de plusieurs paramètres ou critères de pondération. Pour cela, un champ est ajouté dans la table représentant le réseau (champ : « ChoixItin »). Alors que le chemin le plus court est recherché en fonction de la distance pour le trafic ferroviaire, il est calculé en fonction de la distance mais également de la catégorie de route pour le trafic routier dans le cadre de cette recherche. Ce champ est calculé de manière à ce que pour un chemin de même longueur, une autoroute soit, par exemple, préférée à une autre route.

L'ajout d'autres paramètres pour rechercher le plus court chemin est envisageable. Ainsi, par exemple, la déclivité pourrait être considérée (plus la déclivité est importante plus l'itinéraire est dissuasif). Toutefois, l'ajout de tels paramètres ne semble pas indispensable pour tester la méthodologie.

6.4.1.2. Résultats

Les résultats (cf. Figure 27 et Figure 28) montrent que le trafic transalpin de marchandises se concentre sur trois principaux corridors à savoir le Gothard (rail et route), le San Bernardino (route) et le Lötschberg – Simplon (rail). Ces itinéraires à travers les Alpes sont principalement dictés par la topographie.



Figure 27 : Trafic ferroviaire transalpin de marchandises (nombre de trains / jour et nuit / moyenne annuelle)

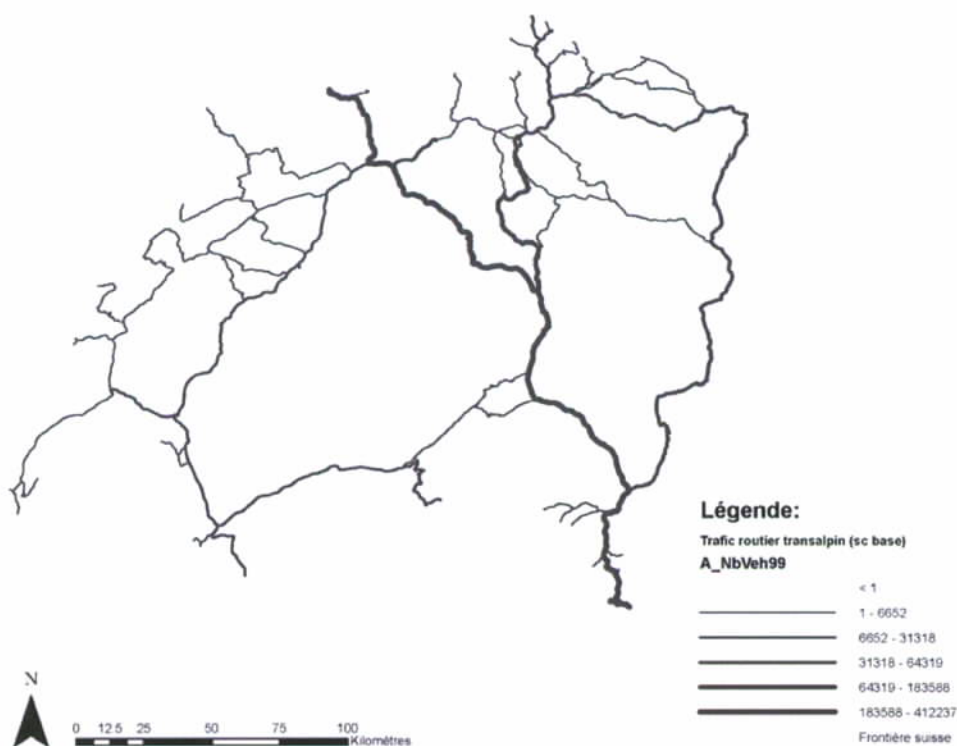


Figure 28 : Trafic routier transalpin de marchandises (nombre de PLM / jour et nuit / moyenne annuelle)

6.4.2. Le trafic « total »

Les données relatives aux trafics routier et ferroviaire total ²¹¹ sont obtenues à partir de sources différentes et font donc l'objet de traitements distincts afin d'associer les valeurs du trafic total aux différents tronçons composant le réseau.

6.4.2.1. Le trafic ferroviaire

Les données des horaires graphiques des CFF des années 2002-2003 sont utilisées pour estimer le trafic ferroviaire total circulant en moyenne les jours ouvrables sur les différents tronçons. Ces valeurs sont détaillées dans le chapitre 5.2.2.3 et dans l'Annexe 13.

La couche représentant le trafic ferroviaire total de marchandises contient ainsi des valeurs moyennes annuelles pour le trafic de marchandises et de voyageurs diurne et nocturne, les jours ouvrables.

Dans cette couche figure également la déclivité²¹² des différents tronçons qui est calculée à partir de l'altitude des nœuds situés à l'extrémité des tronçons (cf. Annexe 13) :

$$(\text{altitude NOD}_b - \text{altitude NOD}_a) / (\text{longueur du tronçon} * 100)$$

A partir de ces valeurs, une classe de déclivité²¹³ est attribuée à chaque tronçon.

6.4.2.2. Le trafic routier

Les données du comptage suisse de la circulation routière 2000 (OFROU) sont utilisées pour obtenir le trafic routier total de voyageurs et de marchandises (cf. 5.2.2.2).

Les données de base sont travaillées dans le logiciel Access où quatre requêtes sont effectuées afin d'obtenir le trafic total des jours ouvrables durant les périodes diurne (6h-22h) et nocturne (22h-6h) pour les différentes catégories de véhicules (cf. Annexe 14).

Les données contenues dans deux tables (poste de comptage ; données trafic) sont associées au moyen d'une jointure²¹⁴ afin que l'ensemble des attributs relatifs aux postes de comptage et aux volumes de trafic soit regroupé dans la couche représentant les postes de comptage (données ponctuelles).

Afin d'associer les valeurs du trafic total aux différents tronçons routiers, les données représentant les postes de comptage sont accrochées au réseau et une jointure²¹⁵ spatiale est établie entre la table poste de comptage et la couche représentant le réseau routier. Ainsi, la valeur moyenne des différents attributs contenus dans la table postes de comptage est associée aux tronçons sur lesquels se trouvent un ou plusieurs postes de comptage.

Tous les tronçons n'étant pas intersectés par un poste de comptage, un script est développé dans ArcGIS (Visual Basic Editor) pour attribuer des valeurs de trafic aux tronçons n'en contenant pas (cf. Annexe 14). Pour cela, un réseau géométrique est créé pour les différentes catégories de route qui ont été regroupées. Le script, au moyen d'une boucle parcourant

²¹¹ Rappel : le trafic total comprend le trafic transalpin de marchandises et le trafic « autre » (marchandises et voyageurs).

²¹² En pourcent.

²¹³ Les classes de déclivité sont inspirées du logiciel MICET (cf. 6.5.2).

²¹⁴ Une jointure (join en anglais) est un lien combinant les enregistrements de deux tables ou couches d'une base de données disposant de valeurs correspondantes dans un champ commun.

« 1. Appending the fields of one table to those of another through an attribute or field common to both tables. A join is usually used to attach more attributes to the attribute table of a geographic layer. 2. The process of connecting two or more separate spatial entities. If two line segments are joined, they become one spatial object for further processing. » GIS dictionary ArcGIS

²¹⁵ Note de bas de page ²¹⁴

l'ensemble des enregistrements de la couche représentant le réseau (tronçons), associe la valeur moyenne des tronçons adjacents en tenant compte de la catégorie de la route si aucune valeur de trafic n'a déjà été attribuée.

La vérification des résultats obtenus révèle qu'il subsiste certains tronçons ne contenant aucune valeur. Afin de compléter ces résultats, quelques opérations supplémentaires sont effectuées dont une jointure spatiale (cf. Annexe 14).

6.4.2.3. Résultats

En Suisse, comme d'une manière générale en Europe, le réseau routier est beaucoup plus vaste que le réseau ferroviaire. Alors que ce dernier compte 5024 kilomètres d'infrastructure en 2004, le réseau routier avec 71297 kilomètres a une infrastructure 14 fois plus importante (OFS).

Il n'est dès lors pas surprenant de constater que le trafic routier total est plus dispersé que le trafic ferroviaire total et ceci principalement sur le plateau où se trouvent les principales agglomérations.

Le trafic ferroviaire total se concentre principalement sur les deux principaux axes transalpins (Gothard ; Lötschberg-Simplon) et sur le réseau reliant les principales villes situées sur le plateau (cf. Figure 29).



Figure 29 : Trafic ferroviaire total (nombre de trains / jour et nuit / moyenne annuelle)

Le trafic routier total présente quant à lui des volumes beaucoup plus importants de véhicules pouvant parfois atteindre plus de 18 millions de véhicules par an (moyenne annuelle²¹⁶). Ce

²¹⁶ Les données du comptage suisse de la circulation routière fournissent le trafic journalier moyen (TJM) qui peut dépasser 100'000 véhicules dans certains cas (ex. : Muttens près de Bâle) ce qui représente plus de 26 millions de véhicules durant l'année.

trafic se concentre principalement à proximité des agglomérations. Ce trafic est également important sur les axes routiers reliant les différentes agglomérations situées sur le plateau et le long des deux principaux axes transalpins (Gothard ; San Bernardino / cf. Figure 30).

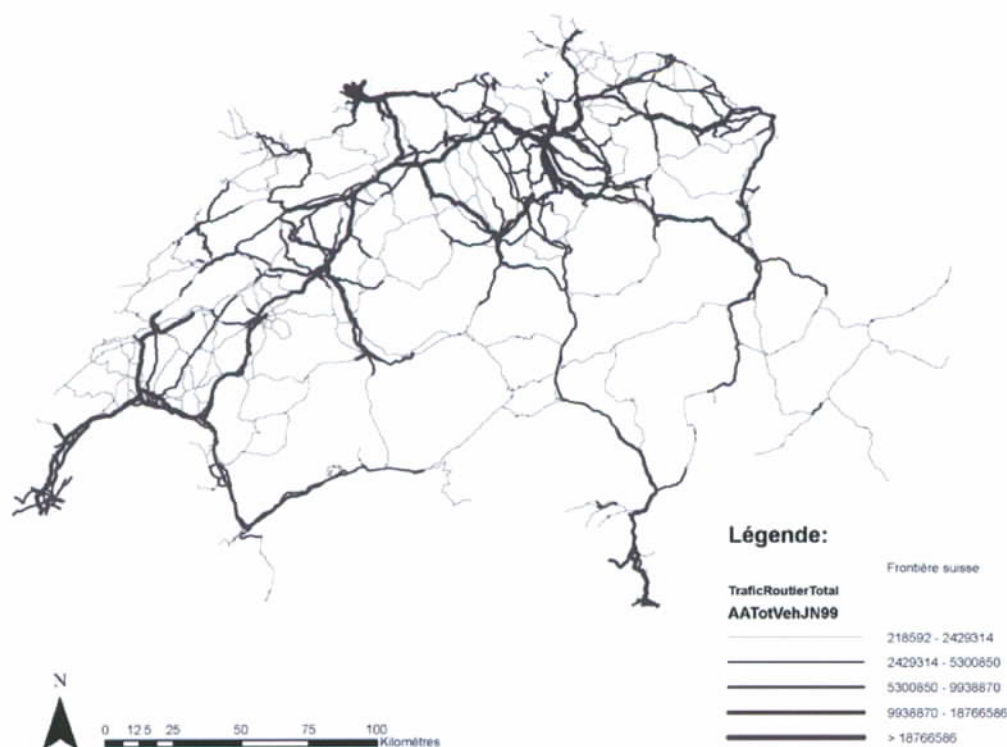


Figure 30 : Trafic routier total (nombre de véhicules²¹⁷ / jour et nuit / moyenne annuelle)

6.4.3. Le trafic « autre »

Le trafic « autre » représente l'ensemble du trafic n'étant pas considéré comme du trafic transalpin de marchandises. Ce trafic peut être déduit du trafic total et du trafic transalpin (cf. 4.3.1.2).

Compte tenu d'une méthode d'acquisition et d'une structure différente des données relatives au trafic ferroviaire et routier total, certains traitements diffèrent.

6.4.3.1. Ferroviaire

Une jointure²¹⁸ est effectuée dans ArcMap afin d'associer les données relatives au trafic ferroviaire total et les données relatives au trafic ferroviaire transalpin de marchandises (cf. Annexe 15). Une fois ces données rassemblées dans une seule couche (même géométrie), la proportion de trains de voyageurs et de marchandises circulant le jour et la nuit est calculée à partir des volumes de trafic total diurne et nocturne. Compte tenu des proportions obtenues pour le trafic de marchandises total et de l'hypothèse selon laquelle le trafic transalpin de marchandises se répartit de la même manière durant le jour et la nuit que le trafic total de marchandises, il est possible d'estimer le trafic transalpin de marchandises circulant la journée ou la nuit.

²¹⁷ PLM, VT, VL, CAR, MC

²¹⁸ Note de bas de page ²¹⁴

Disposant de données relatives aux trafics total et transalpin de marchandises diurnes et nocturnes, les volumes diurne et nocturne du trafic « autre » de marchandises peuvent être estimés. Pour cela le trafic transalpin de marchandises est soustrait au trafic total de marchandises : « autres » = « total » - « transalpin ».

La qualité des données obtenues est vérifiée en comparant les résultats obtenus aux cartes publiées par l'ARE (cf. Annexe 16) et en présentant les résultats obtenus à des personnes compétentes.

6.4.3.2. Le trafic routier

Afin de calculer le trafic routier autre, deux hypothèses sont admises. D'une part, il est admis que le trafic routier transalpin de marchandises circule principalement durant le jour (6h-22h) et, d'autre part, que le trafic transalpin de marchandises se répartit de la même manière durant le jour et la nuit que le trafic total de marchandises. Ainsi, il arrive que quelques poids lourds traversent les Alpes durant la nuit mais cela demeure relativement rare (cas exceptionnels²¹⁹).

A partir des données du trafic total, la proportion de trafic transalpin de marchandises circulant durant la nuit ou le jour est calculée (cf. Annexe 17). Les données du trafic transalpin de marchandises sont ensuite regroupées afin d'obtenir, pour chaque tronçon, le trafic dans les deux sens (un seul enregistrement). A partir de ces couches, représentant respectivement le trafic total et le trafic transalpin, une jointure²²⁰ est réalisée afin d'associer les informations figurant dans ces deux couches et de calculer le trafic « autre » en déduisant le trafic transalpin du trafic total.

La qualité des données obtenues est vérifiée en s'assurant que la couche représentant le trafic « autre » ne contienne aucune valeur négative.

A ce stade, une origine et une destination sont associées à chaque tronçon de la couche représentant le trafic transalpin mais également de la couche représentant le trafic « autre » dans l'objectif de leur associer une altitude et de calculer la déclivité des différents tronçons (cf. Annexe 17).

6.4.3.3. Résultats

Les trafics routier et ferroviaire autres représentent la majeure partie du trafic total.

Le trafic ferroviaire autre se concentre ainsi principalement sur le réseau reliant les principales villes situées sur le plateau (cf. Figure 31) et le trafic routier autre est relativement important à proximité des principales agglomérations (cf. Figure 32).

²¹⁹ « La circulation des véhicules motorisés lourds destinés au transport des marchandises est interdite la nuit de 22 h à 5 h et le dimanche » (article 2 - LCR 2004). Cette interdiction présente toutefois certaines exceptions (CH 1992 - Annexe 6 intitulé « Exemption de l'interdiction de circuler la nuit et le dimanche et exemption de la limite des 28 tonnes » de l'« Accord entre la Confédération suisse et la Communauté économique européenne sur le transport de marchandises par route et par rail » conclu le 2 mai 1992).

²²⁰ Note de bas de page ²¹⁴

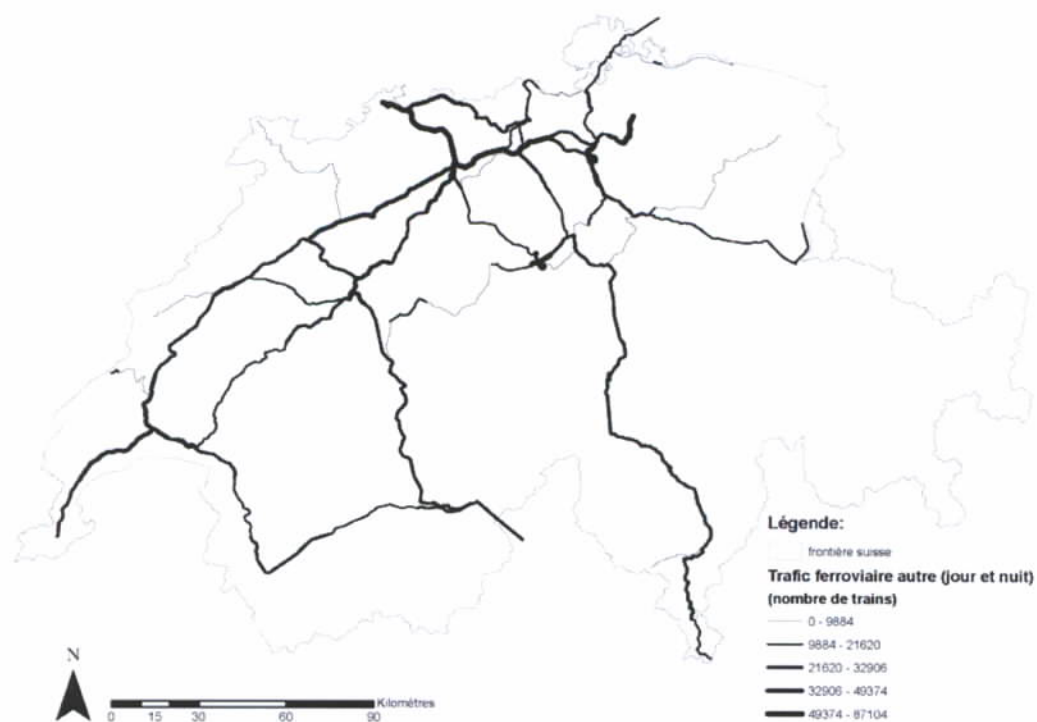


Figure 31 : Trafic ferroviaire « autre » (nombre de trains / jour et nuit / moyenne annuelle)

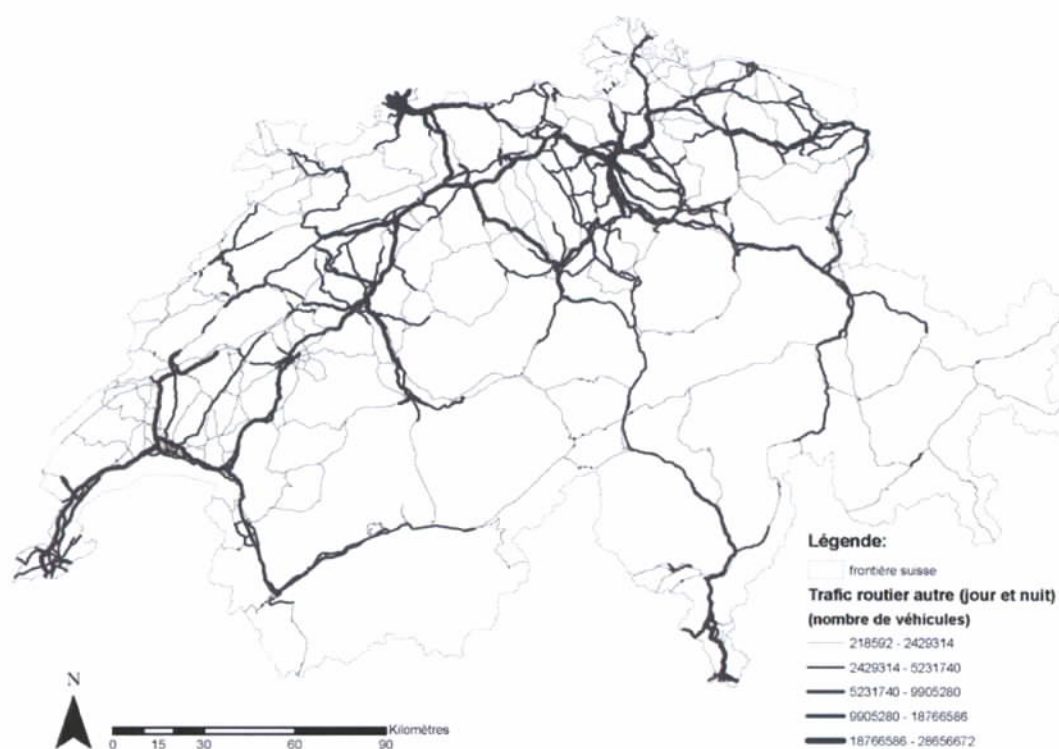


Figure 32 : Trafic routier « autre » (nombre de véhicules²²¹ / jour et nuit / moyenne annuelle)

²²¹ PLM, VT, VL, CAR, MC

6.5. Calcul des émissions

6.5.1. Calcul des émissions sonores

6.5.1.1. Le trafic ferroviaire

Les émissions sonores diurnes et nocturnes du trafic ferroviaire total et « autre » sont calculées à partir du trafic circulant dans les deux sens (cf. Annexe 19).

Les émissions sonores sont calculées pour chaque catégorie de train (marchandises et voyageurs) puis sont additionnées afin d'obtenir le niveau d'émission global.

Le calcul des émissions sonores pour chaque catégorie de train tient compte du nombre de train par heure, de la longueur du train, de la vitesse du train, du type de train et du type de frein. La déclivité de l'infrastructure n'est pas considérée. Les émissions sonores pour chaque catégorie de train sont calculées selon la formule suivante (HERTIG 1999 / p. 228) :

$$Leq_z = (10 \log (10^{0,1 (A + B \log (V_{eff}) + 10 \log (L))}) + 10 \log (M)) \quad [dB(A)]$$

Avec :

- Leq_z : niveau d'émission de la catégorie de trains z (marchandises ou voyageurs)
- M : nombre de trains par heure
- A, B : caractéristique du matériel roulant (cf. Tableau 20)
- L : longueur du convoi [m] (cf. Tableau 20)
- V_{eff} : vitesse effective [km/h] (cf. Tableau 20)

	Trains voyageurs	Trains marchandises
Longueur moyenne [m]	250	700 ²²²
Vitesse moyenne [km/h]	95	80 ²²³
Type de frein	Freins à disque	Sabots en fonte
A²²⁴	-28	22
B²²⁵	35	15

Tableau 20 : Hypothèses concernant les trains voyageurs et les trains marchandises

Le niveau d'émission global est ensuite calculé au moyen de l'addition énergétique des niveaux partiels de chaque catégorie de train (HERTIG 1999 / p. 229):

$$Leq_{lz} = 10 \log (\Sigma 10^{0,1 Leq,z}) \quad [dB(A)]$$

Avec :

- Leq_{lz} : niveau d'émission global
- Leq,z : Leq_z de chaque catégorie de train

²²² GUGLIELMINETTI 2001

²²³ Limite au niveau du Gothard

²²⁴ HERTIG 1999 (p. 229)

²²⁵ HERTIG 1999 (p. 229)

6.5.1.2. Le trafic routier

Comme pour le trafic ferroviaire, les émissions sonores diurnes et nocturnes sont calculées à partir du trafic circulant dans les deux sens.

Le calcul des émissions sonores du trafic routier, réalisé à l'aide du modèle STL 86 modifié par l'EMPA²²⁶ (HERTIG 1999 / p. 227), tient compte du nombre de véhicules par heure, de la proportion de poids lourds²²⁷ ainsi que de la vitesse moyenne. La déclivité de l'infrastructure n'est pas considérée.

Le niveau de bruit équivalent²²⁸ est calculé selon la formule suivante :

$$Leq = A + 10 * \log [(1 + (V/50)^3) * (1 + B * ETA * (1 - V/150))] + 10 * \log [THD] \quad [dB(A)]$$

Avec :

- THD : trafic horaire déterminant [véh/h]²²⁹
- ETA : proportion de poids lourds
- A : 42 (constante empirique)
- B : 20 (constante empirique)
- V : vitesse moyenne [km/h]

Dans le cadre de cette recherche, le trafic horaire déterminant (THD) est obtenu à partir de la somme des différents types de véhicules circulant en moyenne les jours ouvrables (264 jours ouvrables) et en divisant par 16 le trafic diurne (trafic horaire moyen durant le jour) et par 8 le trafic nocturne (trafic horaire moyen durant la nuit).

La vitesse (V) sur les différents tronçons tient compte de la moyenne des vitesses des différents types de véhicules (CAR, MC, PLM, VL, VT).

6.5.2. Calcul des émissions atmosphériques du trafic routier

Les émissions atmosphériques induites par le trafic routier sont calculées sur la base des coefficients d'émission disponibles dans la version 2.1 du « Manuel Informatisé des Coefficients d'Emission du Trafic routier (MICET) » (OFEV 2004).

La première version de ce manuel, élaborée par le bureau d'ingénieurs INFRAS sur mandat de l'Umweltbundesamt à Berlin et l'OFEV à Berne, a été publiée en 1995. Elle a été actualisée en 1999 (version 1.2) et en 2004 (version 2.1) en tenant compte des plus récentes évolutions dans le domaine des prescriptions sur les gaz d'échappement et des décisions ou projets relatifs au renforcement des normes sur les gaz d'échappement (EURO). Des informations relatives aux hypothèses retenues dans le cadre de ce manuel sont disponibles dans le menu « Informations » du manuel ou sur le site internet www.hbefa.net.

Afin de tenir compte des différents cas de figure et d'obtenir les coefficients d'émission appropriés [g/km/véh], différents paramètres peuvent être choisis. Dans le cadre de cette recherche les paramètres suivants ont été choisis :

- type de coefficient d'émission : émissions à chaud ;
- catégorie de véhicules : PLM, VL, VT, MC, CAR (cf. Tableau 21) ;

²²⁶ Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche du Domaine des Ecoles Polytechniques Fédérales (EPF)

²²⁷ Voitures automobiles lourdes servant au transport de marchandises et dont le poids total autorisé en charge (PTAC) est supérieur à 3,5 tonnes.

²²⁸ EMPA, *FLULA2 Une méthode de calcul de représentation de l'exposition au bruit des aéronefs*, Version 2, octobre 2001, 72 p.

²²⁹ Annexe 3, paragraphe « Trafic moyen de jour et de nuit » (OPB 1986)

- année de référence: 1999 ;
- structure du parc et de la circulation²³⁰ (cf. Tableau 22) ;
- composants/polluants : PM²³¹, CO₂, HC, CO, NO_x;
- conditions de circulation en fonction du type de route : AR_120 et EX_RP1;
- profils en long : 0, ±2, ±4, ±6 %²³².

Types de véhicule	MICET 2.1 Manuel informatisé des coefficients d'émission du trafic routier		Comptage suisse de la circulation routière
Poids lourds marchandises	PLM ²³³	CAM (camion)	LW (camion)
		TR (train routier)	LS (train routier)
		TS (train semi-remorque)	-
Voitures de tourisme	VT		PW
Voitures de livraison	VL		LF
Autocars	CAR ²³⁴		CA
Motocycles	MC		MR

Tableau 21 : Abréviations des véhicules routiers

Types de route	PLM	VT	VL	CAR	MC
AR_120 ²³⁵ FRC : 0	86	116	112,9	102,8	115
EX_RP1 ²³⁶ FRC : 1/2/3/4	71,8	77	65,9	81,4	54,9

Tableau 22 : Les conditions de circulation [km/h]

Compte tenu des volumes de trafic et des coefficients d'émission (cf. Annexe 18), les émissions atmosphériques du trafic « autre », transalpin et total diurne et nocturne, sont calculées (cf. Annexe 20):

$$Q = \text{nombre de véhicules} * \text{coefficient d'émission} \quad [\text{g/km/an}]$$

Le calcul des émissions atmosphériques tient compte de la déclivité de l'infrastructure. Toutefois, étant donné que MICET ne propose pas de coefficients d'émission pour les infrastructures dont la déclivité est supérieure à 6%²³⁷, les émissions peuvent être sous-estimées notamment en zone de montagne. Les données relatives au trafic total ne faisant pas

²³⁰ La structure du parc / de la circulation dépend de l'année considérée.

²³¹ Particules provenant des gaz d'échappement (et non des processus mécaniques (abrasion, tourbillons)). Les particules émises par le trafic routier et issues des processus de combustion sont de très petite taille (particules de poussières d'un diamètre égal ou inférieur à 10 µm (PM₁₀)).

²³² L'ensemble des tronçons est supposé être coupé au niveau des cols.

²³³ Poids lourds marchandises : catégorie générale et/ou différenciée en camion, trains routiers et trains semi-remorques. Dans cette recherche, ces différentes catégories sont regroupées sous le terme de poids lourd marchandises (PLM) étant donné que pour le trafic transalpin cette distinction n'est pas faite. Cette distinction serait intéressante à utiliser si des données plus précises du trafic transalpin devenaient disponibles.

²³⁴ Les bus sont intégrés dans cette catégorie.

²³⁵ AR : autoroute – limite générale 120 km/h (autoroutes)

²³⁶ EX : hors localités, route principale, gabarit élevé, rectiligne (routes principales ; autres routes principales ; routes secondaires ; routes locales)

²³⁷ Cela correspond à la pente maximale des autoroutes en Suisse.

référence au sens de circulation, il est admis que dans ce cas la moitié du trafic observé circule dans un sens et l'autre moitié dans l'autre sens.

L'addition des émissions induites par les différentes catégories de véhicules permet d'obtenir les émissions atmosphériques provenant de l'ensemble des catégories de véhicule.

Pour chaque tronçon, la proportion d'émissions générées par le trafic transalpin est calculée (cf. Figure 52 et Annexe 20).

Les émissions induites par le trafic total, le trafic « autre » et le trafic transalpin sont également calculées pour l'ensemble du réseau (cf. Tableau 23 et Annexe 20).

	SO ₂	CO ₂	PM	NO _x	CO	HC
voitures de tourisme	786	5588673	204	15564	58582	3677
voitures de livraison	88	425306	149	2357	11984	463
poids lourds marchandises	450	1600239	580	20443	3262	1049
motocycles	7	54251	0	219	6757	1116
cars et bus	35	123300	48	1543	206	67
total	1366	7791770	982	40126	80791	6372

Tableau 23 : Emissions atmosphériques du trafic total à l'échelle de la Suisse en 1999 [tonnes]

Afin de vérifier si le pourcentage des émissions atmosphériques, induites par le trafic transalpin de marchandises, est correct par rapport aux émissions induites par le trafic « autre » de marchandises, les PLM/km sont calculés (cf. Annexe 20). Les résultats montrent que le trafic transalpin routier de marchandises qui participe à 11% des émissions de polluants atmosphériques induites par les poids lourds marchandises (PLM) représente également 11% des PLM/km. Les 89% restant sont ainsi, dans les deux cas, associés au trafic « autre » de marchandises.

6.5.3. Pollution de l'air : comparaison des résultats obtenus avec les valeurs de l'OFEV

Afin de valider les résultats obtenus par cette méthode, ces derniers sont comparés aux valeurs figurant (cf. Tableau 24) dans la publication intitulée « Emissions polluantes du trafic routier de 1980 à 2030 » (OFEFP 2004a). Cette comparaison avec les données d'émission de l'année 2000 révèle que les données obtenues dans cette recherche sont du même ordre de grandeur.

	SO ₂	CO ₂	PM	NO _x	CO	HC
voitures de tourisme	760	7838571	338	17109	148764	14793
voitures de livraison	105	787981	240	3780	20564	1542
poids lourds marchandises	219	1268973	480	15708	2960	1037
motocycles	12	136393	48	409	16218	5019
cars et bus	38	222193	118	2917	744	265
total	1135	10254110	1225	39923	189250	22656

Tableau 24 : Emissions atmosphériques du trafic en Suisse en 2000 (calcul pour les jours ouvrables) [tonnes] (OFEFP 2004a)

La méthode utilisée par l'OFEV diffère de celle appliquée dans cette recherche puisqu'elle consiste en la modélisation du parc automobile, en la mise en évidence des prestations kilométriques et des liens entre les concepts techniques et les émissions. La divergence entre les résultats obtenus dans cette recherche et les valeurs de l'OFEV est sans doute en partie liée à la méthodologie utilisée.

Les données de l'OFEV étant calculées sur une année civile, les valeurs correspondant aux jours ouvrables uniquement sont estimées. Pour cela l'hypothèse selon laquelle 72%²³⁸ des émissions calculées par l'OFEV font référence au trafic ayant lieu les jours ouvrables est admise. Cette adaptation n'est toutefois pas idéale étant donné que la composition du trafic durant les jours ouvrables est différente de celle de l'ensemble des jours de l'année civile. Ce fait explique partiellement les valeurs plus élevées obtenues par l'OFEV pour les voitures de tourisme (VT) et les valeurs inférieures en ce qui concerne les poids lourds marchandises (PLM).

L'analyse des résultats révèle que le modèle développé dans le cadre de cette recherche se cale relativement bien sur les valeurs obtenues par l'OFEV en ce qui concerne les émissions de SO₂ et de NO_x. Par contre, de grandes différences sont observées en ce qui concerne les émissions de CO et de CO₂.

D'une manière générale, les émissions totales obtenues dans cette recherche sont inférieures aux valeurs présentées par l'OFEV à l'exception des émissions induites par les PLM. En effet, selon l'OFEV la contribution maximale des PLM aux émissions totales s'élève jusqu'à 39% alors que dans cette recherche cette participation peut s'élever jusqu'à 59%. Cette différence pourrait s'expliquer par le type de trafic considéré. En effet, alors que cette recherche se focalise surtout sur le trafic interurbain, les valeurs de l'OFEV tiennent compte tant du trafic interurbain que du trafic urbain.

Afin d'identifier si les différences observées sont liées aux volumes de trafic considérés (importance du trafic urbain / interurbain) et, par conséquent, au nombre de véhicule/kilomètre, le rapport²³⁹ entre les différentes valeurs est calculé pour les différents

²³⁸ (264*100)/365 : avec 264 jours ouvrables pour une année civile de 365 jours.

²³⁹ ((Résultat recherche – Résultat OFEV) * 100) / Résultat OFEV

types de véhicules et les différents polluants. Dans une situation idéale, ce rapport devrait être similaire pour les différentes valeurs d'émission d'une même catégorie de véhicule. Or, la variété des rapports observés révèle que le volume et le trafic pris en compte n'expliquent pas à eux seuls les différences observées.

Compte tenu de ces observations, il est nécessaire d'analyser l'éventuelle influence liée à la valeur des coefficients retenus. Bien que les deux recherches se réfèrent à la même base de données, la valeur des coefficients retenus peut varier principalement en fonction de trois paramètres : la déclivité, les conditions de circulation, les émissions induites par les démarrages à froid, les émissions à l'arrêt ainsi qu'en stationnement. La prise en compte ou non de ces paramètres lors du choix des coefficients d'émission est susceptible d'influencer les résultats et donc d'expliquer les différences obtenues dans les rapports. De plus, la façon d'utiliser MICET peut également être à l'origine de divergences dans les résultats.

Concernant les voitures de tourisme (VT), la plus ou moins faible sous-estimation des émissions peut s'expliquer dans une très faible proportion par l'omission de la prise en compte des surémissions au départ (HC, CO, NO_x, PM, CO₂, SO₂). La sous-estimation des émissions de HC particulièrement importante peut également être partiellement expliquée par la non considération des émissions induites par l'évaporation après arrêt du moteur et par l'évaporation en stationnement.

Les rapports obtenus pour les voitures de livraison (VL) sont un peu plus homogènes. Comme pour les VT, la sous-estimation des émissions peut partiellement s'expliquer par l'omission de la prise en compte des surémissions au départ (HC, CO, NO_x, PM, CO₂, SO₂) ainsi que par la non considération des émissions induites par l'évaporation après arrêt du moteur et par l'évaporation en stationnement (HC). La sous-estimation prononcée des émissions de SO₂ pourrait éventuellement être liée aux conditions de circulation. En effet, les coefficients d'émission de SO₂ sont supérieurs en ce qui concerne les autoroutes par rapport aux routes urbaines (cf. Figure 33).

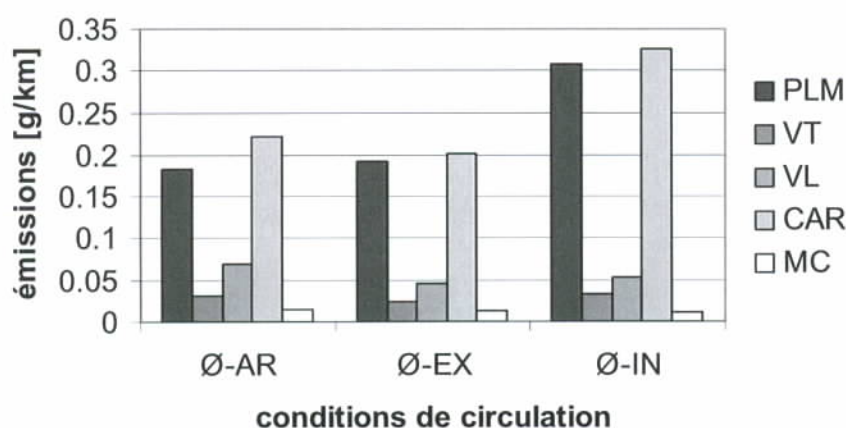


Figure 33 : Influence des conditions de circulation sur les émissions de SO₂

Les valeurs d'émission obtenues pour les poids lourds marchandises (PLM) sont toutes supérieures aux résultats de l'OFEV, supériorité principalement prononcée en ce qui concerne les émissions de SO₂ et dans une faible mesure des émissions de CO₂, de NO_x et de PM. Comme mentionné précédemment, la surestimation générale des émissions des PLM par rapport aux émissions des VT et VL s'explique sans doute en partie par la focalisation de cette recherche sur le trafic interurbain. Toutefois l'importance des valeurs obtenues pour le

SO₂, le CO₂, les NO_x et les PM peut s'expliquer par la prise en compte de la déclivité. En effet, pour ces différents polluants, les coefficients d'émission relatifs aux PLM varient fortement en fonction de la déclivité du réseau parcouru (cf. Figure 34).

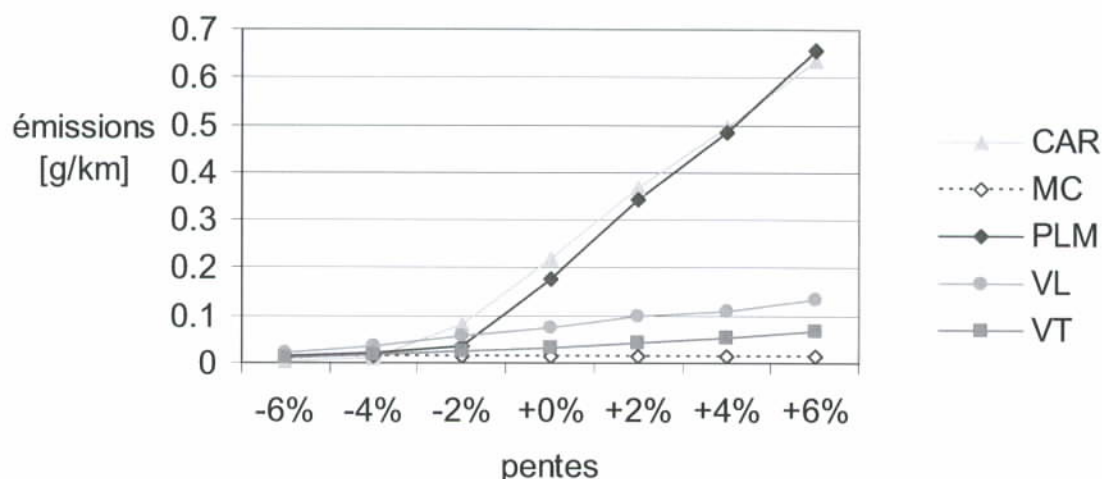


Figure 34 : Influence de la déclivité sur les émissions de SO₂

Concernant les motocycles (MC) les rapports, bien qu'ils soient fortement négatifs, se révèlent être relativement homogènes à l'exception des émissions de PM et dans une moindre mesure de HC. La déclivité n'ayant aucune influence sur les coefficients d'émissions pour ce type de véhicule, les différences observées peuvent uniquement être partiellement expliquées par la sous-estimation du trafic urbain, l'omission de la prise en compte des surémissions au départ (HC, CO, NO_x, PM, CO₂, SO₂) ainsi que des émissions induites par l'évaporation après arrêt du moteur et par l'évaporation en stationnement (HC). Concernant les émissions de PM, cette comparaison révèle une sous-estimation des émissions produites par les MC. La valeur nulle obtenue dans cette recherche s'explique par le fait que, selon le logiciel MICET, les MC n'émettent pas de PM quel que soit le type de route tant en circulation qu'en stationnement²⁴⁰. Concernant les cars et les bus (CAR), l'ensemble des rapports sont négatifs. Les émissions de SO₂ induites par les CAR étant particulièrement sensibles à la déclivité de l'infrastructure, ce paramètre est susceptible d'expliquer la différence plus faible observée pour ce polluant (cf. Figure 34). Le type de trafic considéré peut également expliquer en partie les valeurs inférieures obtenues pour les émissions des différents polluants émis par les CAR. En effet, les émissions induites par les CAR circulant sur les routes urbaines sont, d'une manière générale, plus importantes que sur les routes interurbaines (cf. Figure 35).

²⁴⁰ Données à 3 décimales

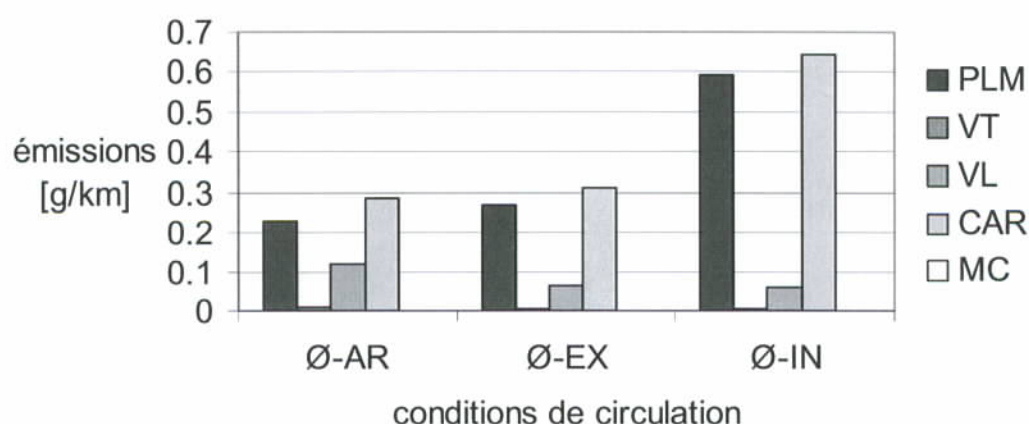


Figure 35 : Influence des conditions de circulation sur les émissions de particules (AR : autoroute ; EX : hors localités, route principale ; IN : dans localité, route principale)

Une comparaison des différents coefficients d'émission des deux versions de MICET (1.2 et 2.1) pour les différentes déclivités (0, ± 2 , ± 4 , $\pm 6\%$) et des conditions de circulation sur autoroute (AR_120 – limite générale 120 km/h) et sur routes principales hors localités (EX_RP1 – gabarit élevé, rectiligne) révèle que seuls les coefficients concernant le CO₂ émis par les CAR et les PLM ont fortement diminué.

Compte tenu des observations précédentes, il est de rigueur de garder un regard critique sur les résultats obtenus par cette recherche et par l'OFEV de même que sur les divergences pouvant provenir d'une utilisation différente des coefficients de MICET.

Cette comparaison permet de vérifier la pertinence des résultats obtenus par la méthode développée. Le modèle développé se focalisant plus particulièrement sur le trafic interurbain et transalpin, l'influence du trafic de marchandises sur les émissions totales doit être relativisée. Concernant la part des émissions induites par le trafic transalpin de marchandises par rapport au trafic total de marchandises (environ 12% des émissions induites par les PLM sont induites par le trafic transalpin de marchandises), cette dernière ne subit aucune influence et paraît ainsi fournir un résultat valable et correct pour cette recherche.

6.6. Calcul des immissions

6.6.1. Le relief

Bien qu'il apparaisse comme essentiel dans cette recherche, le relief n'est pas intégré au calcul des immissions atmosphériques et sonores. La difficulté de son intégration dans le cadre du développement de la méthodologie est principalement liée au temps et aux ressources à disposition. Son intégration future est envisageable et recommandée. Plusieurs solutions peuvent être envisagées dans ce sens (ex. : utilisation d'un modèle de dispersion Lagrangien²⁴¹ ; DELETRAZ 2002).

Toutefois, la distinction de zones homogènes notamment en fonction de leurs caractéristiques topographiques (altitude et déclivité) permet d'envisager l'intégration de cette dimension lors du calcul des indicateurs.

²⁴¹ Tient compte des trois dimensions.

6.6.2. Préparation des données pour le calcul des immissions

Afin de calculer les immissions sonores du trafic ferroviaire et routier, un coefficient de correction K est associé à chaque tronçon ferroviaire ou routier en fonction du volume de trafic (cf. Annexe 19 et Annexe 20). Ainsi, par le biais de divers facteurs correctifs l'appréciation subjective du genre de bruit est prise en compte dans le calcul du niveau d'évaluation pour le trafic total et pour le trafic « autre » diurne et nocturne.

Afin de modéliser la dispersion des émissions provenant d'une source linéaire telle que le réseau ferroviaire ou routier, les données linéaires ont été discrétisées en données ponctuelles (cf. Annexe 19 et Annexe 20).

6.6.3. Le modèle de base pour la dispersion des émissions

Les immissions sonores et atmosphériques sont calculées à partir des valeurs d'émissions obtenues pour les différents tronçons composant le réseau et des modèles de dispersion.

Le modèle de dispersion du bruit tient compte de la réduction des émissions liée à la distance séparant la source (réseau) du récepteur (population), de la réduction liée à l'air ainsi que de l'influence du sol.

Les immissions atmosphériques sont quant à elles calculées à l'aide d'un modèle de dispersion Gaussien. Ce modèle, qui permet de diffuser les émissions provenant d'une source linéaire, tient compte de certains paramètres météorologiques tels que le vent.

Les immissions sont calculées à l'aide d'un développement spécifique exécuté dans le logiciel Matlab (cf. Annexe 22). Les données ponctuelles représentant le réseau sont éloignées d'une distance maximale de 35,34 mètres ($((25^2 + 25^2)^{0.5})$). Chacun de ces points représente un enregistrement (une ligne de la table) et contient une coordonnée x, une coordonnée y et des valeurs d'émissions (sonore et atmosphérique).

L'algorithme permet de scanner les valeurs de la table, enregistrement après enregistrement. Pour chaque paire d'enregistrements concomitants (points i et i+1) et qui ne sont pas éloignés de plus de 40 mètres (DL – distance limite²⁴²), un « point milieu » est calculé (coordonnées moyennes, émissions maximales, coefficient K maximal). Ces points milieu sont ensuite interpolés perpendiculairement au réseau à une distance de 25 mètres, 50 mètres, et ainsi de suite (R – buffer²⁴³ d'interpolation – 25 m) jusqu'à ce que les valeurs d'immissions soient inférieures à une valeur minimale (Llimit – intensité limite d'interpolation). L'interpolation est faite de chaque côté du réseau (Xplus ; Yplus / Xmoins ; Ymoins). Pour chaque point interpolé, les immissions sont calculées.

²⁴² La distance maximale de 35,34 mètres est arrondie à 40 mètres.

²⁴³ Note de bas de page ¹⁷⁶

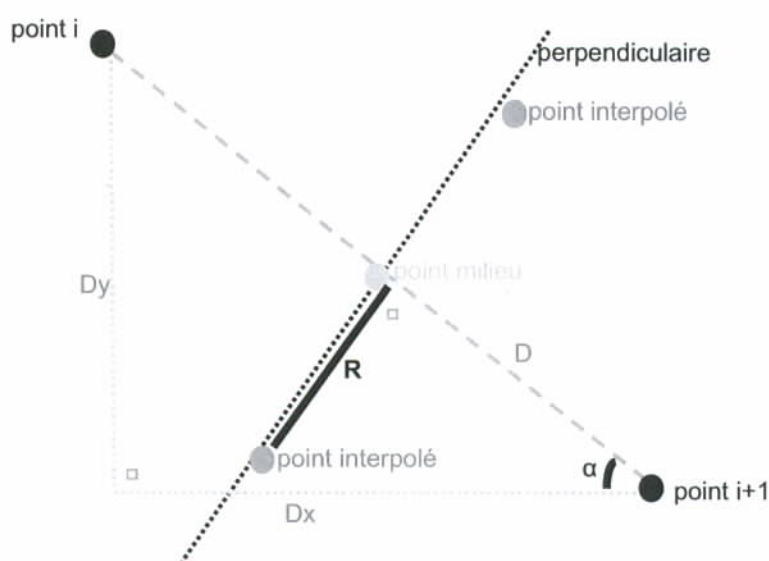


Figure 36 : Méthode de calcul du point milieu et d'interpolation des points

Plus précisément, les différentes étapes du code sont les suivantes (cf. Figure 36) :

- calcul de la distance plane (distance séparant les points i et $i+1$ / Dx et Dy) ;
- condition pour le calcul du point milieu (si la distance plane est inférieure à la distance limite ou distance maximale entre les points i et $i+1$ alors le point milieu est calculé) ;
- calcul des coordonnées x et y du point milieu ;
- calcul de l'angle α et des paramètres des droites (perpendiculaire, tronçon) ;
- condition pour le calcul de la valeur de l'angle α et des paramètres des droites (valeurs différentes si la distance horizontale est nulle (réseau orienté nord-sud) ou si ce n'est pas le cas) ;
- calcul des émissions/immissions et du coefficient K au niveau du point milieu (les immissions atmosphériques au niveau du point milieu correspondent aux immissions calculées à 10 mètres de la route (cf. 6.6.5.3)) ;
- stockage des valeurs correspondant au point milieu dans la table résultats ;
- interpolation des points milieux ;
- calcul des coordonnées x et y des points extrapolés des deux côtés du réseau ;
- calcul des immissions au niveau des points interpolés en fonction de la formule d'atténuation et de la valeur du coefficient K ;
- stockage des valeurs correspondant aux points interpolés dans la table résultats.

6.6.4. Calcul des immissions sonores

6.6.4.1. Les parois antibruit

Des données relatives aux parois antibruit présentes le long du réseau ferroviaire peuvent être obtenues auprès des CFF sous certaines conditions. En effet, ces données sont normalement exclusivement destinées à une utilisation interne.

Concernant le réseau routier, aucune base de données relative aux parois antibruit n'existe au niveau suisse. Ces données étant gérées au niveau cantonal, l'ensemble des cantons suisses a été contacté. Compte tenu de la diversité des sources d'information, la numérisation de l'ensemble de ces données ne peut être envisagée dans le cadre de cette recherche même si elle présente un grand intérêt.

Etant donné le volume du travail nécessaire, les données relatives aux parois antibruit présentes le long du réseau routier et ferroviaire n'ont pas pu être intégrées dans cette recherche.

Toutefois, il est envisageable de numériser ces données par la suite, d'intégrer un nouvel attribut relatif à leur présence ou absence dans les données ponctuelles représentant le réseau et d'adapter le modèle d'immission sonore afin de tenir compte de ces protections sonores.

6.6.4.2. Le trafic ferroviaire

Le modèle de dispersion du bruit tient compte de l'atténuation totale et comprend la réduction des émissions liée à la distance séparant la source (réseau) du récepteur (population), la réduction liée à l'air ainsi que l'influence du sol.

Les paramètres relatifs à la météorologie (vent ; situations d'inversion ; etc.) ainsi que la topographie ne sont pas pris en compte. Il est nécessaire de tenir compte de ces paramètres par la suite. En effet, cette recherche, qui a pour principal objectif de développer et de tester une méthodologie applicable au niveau alpin, envisage l'adaptation des modèles ou l'intégration de nouveaux modèles afin de représenter plus fidèlement la réalité.

Le niveau de son continu ou niveau continu équivalent [Leq] est calculé à partir du niveau d'émission mesuré au niveau de la source et de l'atténuation totale des émissions sonores. Cette dernière est calculée selon la formule suivante :

$$\Delta_{\text{tot}} = -10 \log (R / R_0) + (-0,007 R) + ((C / (h + 1)) * (1 - \exp (-R / D))) \quad [\text{dB(A)}]$$

Avec :

- $-10 \log (R / R_0)$: atténuation due à la distance (HERTIG 1999 / p. 230)
- $(-0,007 R)$: atténuation due à l'air pour $R < 100$ mètres (HERTIG 1999 / p. 231)²⁴⁴
- $((C / (h + 1)) * (1 - \exp (-R / D)))$: influence du sol (HERTIG 1999 / p. 234)
- R : distance entre la source et le récepteur perpendiculaire à la source [m]
- R_0 : 1 [m]
- C : constante qui est égale à 30 pour les chemins de fer
- D : constante qui est égale à 300 pour les chemins de fer
- h : hauteur moyenne de propagation au-dessus du sol [m] = 0,5 mètre (OPB 1986)

A partir du niveau de son continu [Leq] et des divers facteurs correctifs K qui permettent de prendre en compte l'appréciation subjective de différentes sources de bruit, le niveau d'évaluation [Lr] (immissions ou concentrations au niveau du récepteur) est calculé selon les directives figurant dans l'annexe 4 de l'OPB (OPB 1986) :

$$L_r = L_{eq} - \Delta_{\text{tot}} + K \quad [\text{dB(A)}]$$

Avec: $K = -15$	si $N < 7,9$
$K = 10 * \log (N / 250)$	si $N \leq 79$
$K = -5$	si $N > 79$

- K : facteur de correction
- N : nombre de trains circulant de jour ou de nuit

²⁴⁴ Hypothèse que pour un récepteur situé à plus de 100 mètres il n'y a plus d'effet.

6.6.4.3. Le trafic routier

Le modèle de dispersion des émissions sonores du trafic routier est similaire au modèle utilisé pour la dispersion des émissions sonores du trafic ferroviaire. Seules certaines valeurs changent. Ainsi, l'atténuation totale des émissions sonores du trafic routier est calculée selon la formule suivante :

$$\Delta_{\text{tot}} = -10 \log (R / R_0) + (-0,005 * R) + ((C / (h + 1)) * (1 - \exp (-R / D))) \quad [\text{dB(A)}]$$

Avec :

- $-10 \log (R / R_0)$: atténuation due à la distance (HERTIG 1999 / p. 230)
- $(-0,005 * R)$: atténuation due à l'air (HERTIG 1999 / p. 231)
- $((C / (h + 1)) * (1 - \exp (-R / D)))$: influence du sol (HERTIG 1999 / p. 234)
- R : distance entre la source et le récepteur perpendiculaire à la source [m]
- R_0 : 1 [m]
- C : constante qui est égale à 20 pour le trafic routier
- D : constante qui est égale à 300 pour le trafic routier
- h : hauteur moyenne de propagation au-dessus du sol [m] = 0,8 mètre (OPB 1986)

L'unité de mesure de l'exposition au bruit $[L_r]$ est calculée selon les directives figurant dans l'annexe 3 de l'OPB (OPB 1986) :

$$L_r = L_{eq} - \Delta_{\text{tot}} + K \quad [\text{dB(A)}]$$

Avec: $K = -5$ si $N < 31,6$
 $K = 10 * \log (N / 100)$ si $31,6 \leq N \leq 100$
 $K = 0$ si $N > 100$

- N : trafic horaire des véhicules à moteur circulant de jour ou de nuit
- K : facteur de correction

6.6.5. Calcul des immissions atmosphériques (particules)

Le modèle de dispersion Gaussien utilisé dans cette recherche permet de simuler la dispersion de polluants atmosphériques primaires. Afin de valider la méthodologie, uniquement les immissions de particules sont calculées. Ces dernières représentent un bon critère d'impact à l'échelle locale.

6.6.5.1. Les données météorologiques

Le calcul des immissions atmosphériques tient compte de certains paramètres météorologiques : la direction du vent, la vitesse du vent et la stabilité de l'atmosphère. Idéalement en Suisse, l'évaluation des immissions atmosphériques devrait au moins tenir compte des cinq situations de vent suivantes :

- Vent du Nord Est ;
- Vent de l'Ouest (Nord Ouest) ;
- Vent du Sud Ouest ;
- Brise descendante ;
- Brise montante.

Compte tenu des difficultés rencontrées avec les situations de brises qui sont plus difficiles à modéliser, seules les trois premières situations ont été effectivement considérées pour tester la méthodologie. Il est toutefois vivement conseillé d'intégrer les situations de brises dans le cas d'un développement futur de cette méthodologie.

Pour ces différents champs de vent, une hypothèse est émise sur la classe de dispersion et sur la vitesse moyenne du vent (Jacques-André HERTIG, Jean-Michel FALLOT - LASEN). En fonction des propriétés de l'atmosphère et surtout de la stabilité retenues, les coefficients de dispersion a et b sont définis en se référant au modèle SPA de 1979²⁴⁵. La valeur de dispersion σ_z est donnée à l'aide d'une formule empirique, x représentant la distance à la source²⁴⁶ :

$$\sigma_z = a * x^b$$

Champs de vent	Direction du vent géostrophique ²⁴⁷ [°]	Vitesse totale du vent [m/s]	Classe de dispersion (définition)	Coefficients de dispersion selon SPA 1979 (σ_z) ²⁴⁸	
				a	b
vent du Nord-Est (bise)	65 (45 au sol)	7	Stable Stabilité normale (0,7 par 100m) ²⁴⁹	0,11	0,74
vent de l'Ouest (Nord Ouest)	280 (260 au sol)	10	Stable Stabilité normale (0,7 par 100m)	0,11	0,74
vent du Sud-Ouest	230 (210 au sol)	10	Stable Stabilité normale (0,7 par 100m)	0,11	0,74
<i>brise descendante (refroidissement du sol)</i>	-	10	<i>Très stable</i> Stabilité normale (0,6 par 100m)	0,008	0,71
<i>brise montante (réchauffement du sol)</i>	-	10	<i>Neutre</i>	0,15	0,82

Tableau 25 : Caractéristiques des différentes situations de vent en Suisse (Source : Jacques-André HERTIG et Jean-Michel FALLOT)

Pour chacune de ces situations, les champs de vent pour l'ensemble de la Suisse ont été calculés par le modèle météorologique à méso-échelle développé par le LASEN. Ces données ponctuelles d'une résolution de deux kilomètres (3 dimensions) contiennent les valeurs figurant dans le Tableau 26.

²⁴⁵ Modèle Gaussien (2 dimensions).

²⁴⁶ HERTIG 1999 (p. 411)

²⁴⁷ Le vent géostrophique est le vent d'altitude induit par la force de Coriolis. Ce vent n'est pas influencé par la topographie, la géothermie et la rugosité du sol. 20° sont ajoutés aux valeurs utilisées dans le modèle de vent afin d'obtenir la direction désirée au niveau du sol.

La force de Coriolis est la force, due à la rotation de la Terre, qui a pour effet de dévier tout objet en mouvement vers sa droite dans l'hémisphère Nord, et vers sa gauche dans l'hémisphère Sud. Le Petit Larousse illustré 1999.

²⁴⁸ Hertig 1999 (p. 413)

²⁴⁹ Degré à la verticale de température – valeur en température réelle. Un refroidissement inférieur à 1 degré par 100 mètres signifie que l'air est stable et qu'il n'y a pas de mouvements verticaux.

x	Coordonnées en x
y	Coordonnées en y
z	Altitude de la mesure (z)
u	Vitesse du vent selon l'axe des x
v	Vitesse du vent selon l'axe des y
w	Vitesse du vent selon l'axe des z
...	...

Tableau 26 : Extrait du contenu des données issues d'un modèle de vent

Les données obtenues sont travaillées dans le logiciel Access afin de récupérer les coordonnées x et y, et dans ArcMap afin de sélectionner uniquement les enregistrements correspondants aux mesures effectuées juste au-dessus du sol (cf. Annexe 21). Les données mesurées au sol et dont les valeurs de u, v et w sont nulles, de même que les données correspondant aux mesures effectuées en altitude, sont supprimées. Pour cela le Modèle Numérique de Terrain MNT 25 de Swisstopo est utilisé. La méthode utilisée pour sélectionner les points correspondants aux mesures effectuées juste au-dessus du sol est à l'origine d'imprécisions. Ces imprécisions pourraient être évitées facilement grâce à l'obtention d'un fichier contenant uniquement ces points. A l'issue de ces traitements une couche « raster »²⁵⁰ représentant les valeurs u (vitesse du vent selon l'axe des x) et une couche représentant les valeurs v (vitesse du vent selon l'axe des y) sont obtenues et ceci pour les différentes situations de vent.

Les données météorologiques (valeurs u et v) relatives aux différentes situations de vent sont ajoutées aux données ponctuelles représentant le réseau (cf. Annexe 20).

Situations de vent	Résultats Suisse	Résultats plateau	Moyenne plateau
Vent nord est	3,8-7 (moyenne 5,8)	0-7 (moyenne 6)	2,5
Vent ouest	1,6-10 (moyenne 8)	7-10 (moyenne 8,5)	3
Vent sud ouest	6,8-10 (moyenne 8)	7-10 (moyenne 8,5)	3
<i>Brise montante</i>	0-6 (moyenne 1.7)	0-2,6 (moyenne -)	2
<i>Brise descendante</i>	-	-	0,5-1
	- : absence de données		

Tableau 27 : Vitesses moyennes de vents obtenues pour les différentes situations [m/s]

Les valeurs des vitesses moyennes de vent issues des modèles sont vérifiées en comparant les vitesses de vent obtenues sur le plateau (cf. Tableau 27) et les vitesses moyennes de vent figurant dans le Tableau 28 (cf. Annexe 21).

²⁵⁰ Note de bas de page ¹⁷¹ et 4.2.3

Situations de vent	diurne	nocturne
Vent nord est	2,5	2,5
Vent ouest	3	3
Vent sud ouest	3	3
<i>Brise montante</i>	2	-
<i>Brise descendante</i>	-	0,5 - 1
Suisse	2 – 2,5	2

Tableau 28 : Vitesses de vent moyennes [m/s] (plateau / 10 mètres au-dessus du sol) – (Source : Jean-Michel FALLOT)

Il semble (Jean-Michel FALLOT):

- qu'il y ait une sous-estimation du vent lors des situations de brise – en effet, les valeurs de u et de v issues du modèle paraissent faibles (valeurs à 10 mètres du sol) ;
- que pour les autres situations de vent, les valeurs de u et de v doivent être corrigées (réduites) étant donné que les valeurs issues des modèles correspondent à des situations extrêmes.

Compte tenu des résultats obtenus, une constante est introduite dans le code exécuté au moyen du logiciel Matlab (6.6.5.2) afin d'adapter les données à une situation de vent moyenne et non extrême en ce qui concerne les situations de vent Nord Est (0,4)²⁵¹, de vent Ouest (0,35) et de vent Sud Ouest (0,35).

La vitesse moyenne du vent en Suisse, tenant compte des différentes situations de vent, est plus faible la nuit que le jour. Ainsi, la dispersion des émissions n'est pas favorisée durant la nuit et les immissions à proximité des routes devraient être plus importantes. Toutefois, compte tenu de la grande différence de trafic entre le jour et la nuit, la situation diurne est sans doute la plus critique.

6.6.5.2. Le modèle

Dans le cas des immissions atmosphériques, la concentration (immission), qui est proportionnelle au débit masse de polluant (Q), est inversement proportionnelle à la vitesse moyenne de l'écoulement (\bar{u}). D'autre part, la forme de la répartition des concentrations est une exponentielle décroissante (Hertig 1999, p. 408).

Pour une source ponctuelle instantanée, le modèle de Sutton (Hertig 1999, p. 409) est basé sur l'hypothèse que la distribution de la concentration dans le panache est gaussienne. La variance de la distribution est donc fonction de la distance. Ainsi, plus on s'éloigne de la source, plus la distribution devient plane, donc moins la concentration est importante.

Dans le cas d'une source linéaire comme celui d'une route, il est possible d'établir une relation semblable au modèle de Sutton en supposant que la dispersion est gaussienne (Hertig 1999, p. 416) :

$$\bar{\chi}(x) = \text{Racine}(2/\pi) * (Q / (\bar{u} * \sigma_z * \sin \theta)) * \exp(-0,5 * (h^2 / \sigma_z^2)) \quad [\mu\text{g}/\text{m}^3]$$

²⁵¹ ex : $6 * 0,4 = 2,4$

Avec :

- $\bar{\chi}(x)$: immission/concentration moyenne au niveau du récepteur en fonction de la distance à la route [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]²⁵²
- h : hauteur (effective de l'émission) = 0,45 [m]
- Q : émission par unité de longueur [$\mu\text{g}/\text{m}/\text{s}$]²⁵³
- \bar{u} : vitesse moyenne du vent dans la direction « réelle » du vent [m/s]²⁵⁴
- $\sin \varnothing$: sinus de l'angle entre la direction du vent et l'axe de la route²⁵⁵
- σ_z : coefficient de dispersion²⁵⁶

$$\sigma_z = a * R^b \text{ (cf. Tableau 25 et 6.6.5.1)}$$

Avec : R : distance entre la source et le récepteur

$$\bar{u} = \text{racine}(v^2 + u^2)$$

Avec: u : vitesse moyenne du vent selon l'axe des x [m/s]

v : vitesse moyenne du vent selon l'axe des y [m/s]

Avec l'ensemble de ces informations, il est possible de déduire la vitesse du vent projeté perpendiculairement à la route (P). Cette vitesse correspond à la somme de deux vecteurs (= $P1 + P2$ / cf. Figure 37) dont la valeur peut être déduite des valeurs de u et de v et des cosinus de l'angle α et de l'angle β (cf. Figure 37) :

$$\begin{array}{lll} \cos \beta = P1 / u & \text{ainsi} & P1 = \cos \beta * u \\ \cos \alpha = P2 / v & \text{ainsi} & P2 = \cos \alpha * v \\ \text{ainsi} & P = v * \cos \alpha + u * \cos \beta & \text{tel que } \alpha + \beta = 90^\circ (= \pi/2 \text{ radian}) \end{array}$$

La vitesse du vent projeté perpendiculairement à la route peut aussi être déduite de la vitesse moyenne du vent dans la direction « réelle » du vent et du sinus de l'angle entre la direction du vent et l'axe de la route :

$$\begin{array}{ll} \text{ainsi} & P = \bar{u} * \sin \varnothing \\ & \sin \varnothing = P / \bar{u} = (v * \cos \alpha + u * \cos \beta) / \bar{u} \end{array}$$

²⁵² La concentration moyenne pour une seconde est équivalente à la concentration moyenne pour un jour ou encore pour une année. Noté «lextend» dans l'algorithme.

²⁵³ Noté «lroute» dans l'algorithme.

²⁵⁴ Noté «vmv» dans l'algorithme.

²⁵⁵ Noté «sinPhi» dans l'algorithme.

²⁵⁶ Noté «oz» dans l'algorithme.

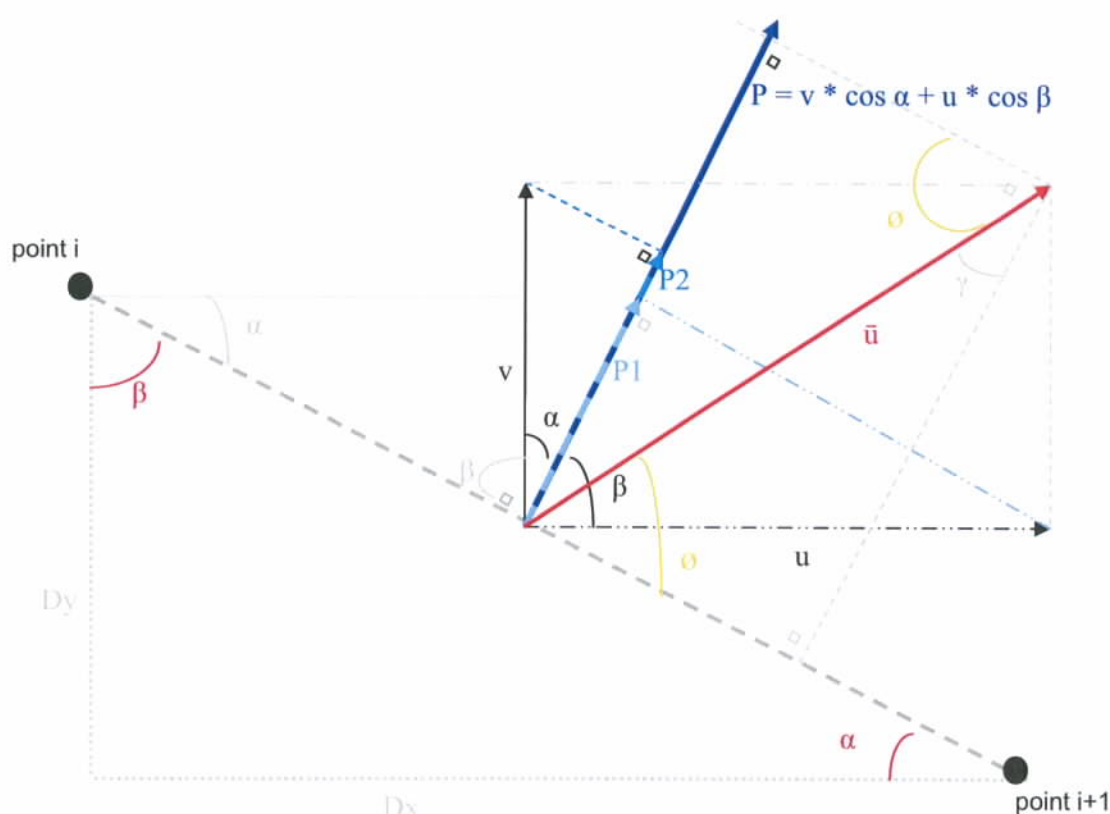


Figure 37 : Calcul des immissions atmosphériques au niveau des points interpolés

Plus précisément, l'algorithme exécuté dans Matlab (cf. Annexe 22) tient compte des valeurs u et v auxquelles sont ajoutées des constantes (cf. 6.6.5.1) qui varient en fonction des situations météorologiques. A partir de ces valeurs, la valeur de la vitesse moyenne du vent dans la direction « réelle » du vent (\bar{u}) est calculée de même que la valeur de $\sin \theta$.

Les immissions au niveau de la route (selon la formule d'atténuation à 10 m) et du point milieu sont calculées puis le point milieu interpolé.

Le coefficient de dispersion (σ_z) variant en fonction des situations météorologiques ainsi que les immissions au niveau des points interpolés sont à leur tour calculés (selon la formule d'atténuation à 25, 50, ... mètres).

Avant de stocker les valeurs obtenues dans la table des résultats, une condition est établie afin que les valeurs d'immissions soient nulles pour les points interpolés situés dans la direction contraire du vent.

Finalement, les immissions calculées étant susceptibles d'être transmises d'un hectare à un autre, un quart ou un huitième des immissions d'un hectare devrait être ajouté à ses voisins directs. Etant donné que les immissions sont uniquement attribuées aux hectares comprenant des habitants, cette interaction des immissions entre les différents hectares ne peut pas être représentée dans le cadre de la validation de la méthodologie.

Afin d'intégrer ce paramètre par la suite, les données relatives aux immissions devraient être associées à une grille hectométrique (ou d'une résolution plus fine) couvrant l'ensemble du territoire. Cette solution a été testée dans le cadre de cette recherche et paraît prometteuse. Toutefois son application nécessite d'importantes capacités informatiques et des temps trop importants de traitements pour être réalisée dans ce projet.

6.6.5.3. Analyse de sensibilité

L'analyse de la formule permettant de simuler une dispersion gaussienne pour une émission linéaire, montre que les immissions à proximité de la source (jusqu'à 10 mètres) sont inférieures aux immissions à 10 mètres de la source. La Figure 38 donne une illustration de la croissance des immissions de particules jusqu'à 10 mètres environ de l'infrastructure puis leur décroissance en fonction de la distance à la source. Cette croissance est probablement due aux tourbillons provoqués par le passage des véhicules à proximité de la route.

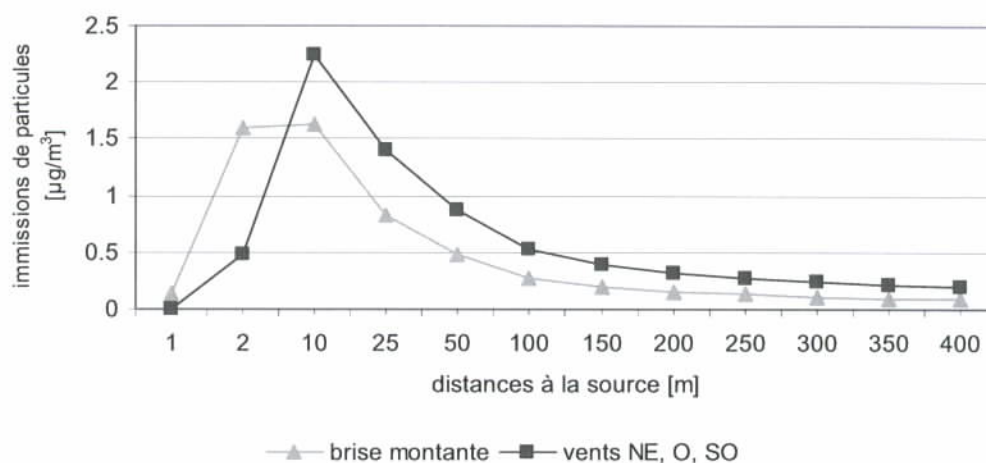


Figure 38 : Dispersion des émissions dans le cas du trafic routier (source à 0,45 m)

Le pic situé à environ 10 mètres de la source dépend de la hauteur de la source (cf. Figure 39) qui est déterminante dans la valeur de l'exponentielle²⁵⁷ (cf. Figure 40).

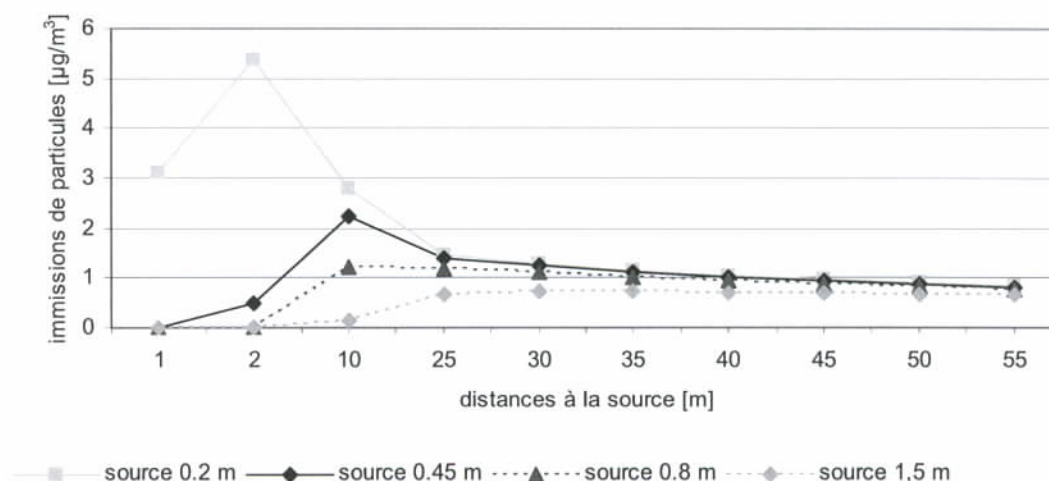


Figure 39 : Modélisation de la dispersion des émissions (vents Nord Est, Ouest, Sud Ouest)

²⁵⁷ $\exp(-0,5 * (h^2 / \sigma_z^2))$

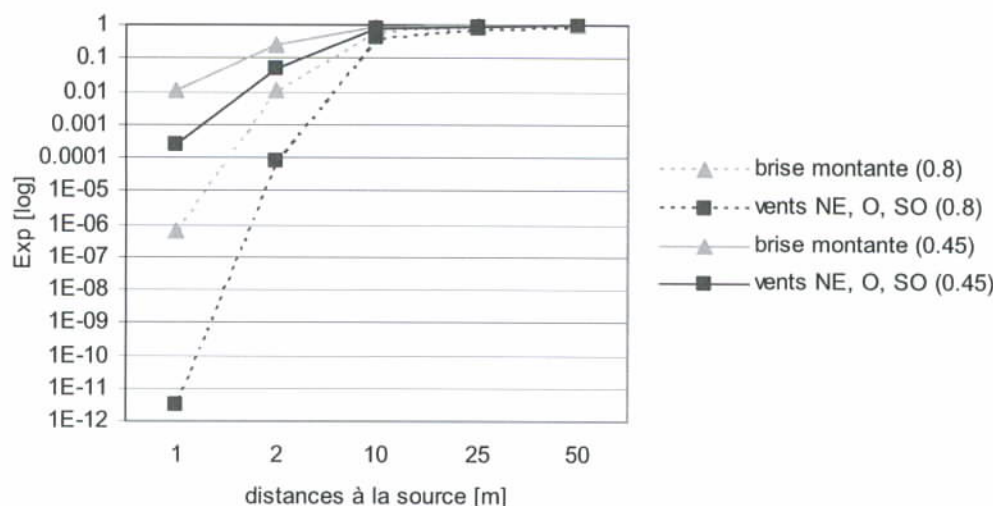


Figure 40 : Valeur de l'exponentielle

6.6.5.4. Calage du modèle (dioxydes d'azote)

Les immissions de particules induites directement par le trafic sont relativement faibles et sont mêlées aux immissions provenant d'autres sources telles que les turbulences ou encore la transformation chimique d'autres polluants. De ce fait, leur évaluation s'avère relativement délicate.

Il apparaît ainsi essentiel de caler le modèle appliqué aux particules en évaluant quelles seraient les immissions d'un polluant principalement induit par le trafic routier tel que les NO_x .

Pour cela, le rapport entre les coefficients d'émissions des particules et des dioxydes d'azote a été calculé et vaut 30,22²⁵⁸. Ainsi, les émissions ou immissions de particules multipliées par ce coefficient donnent les émissions ou immissions de dioxyde d'azote (cf. Annexe 23).

Afin d'évaluer la pertinence des résultats obtenus pour les particules, les immissions de NO_x sont considérées. Ainsi, le long de l'itinéraire du Gothard, les immissions de NO_x qui devraient être comprises entre 60 et 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à proximité de la route sont généralement supérieures puisqu'elles sont souvent de 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à 25 mètres et de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à 50 mètres. Les valeurs obtenues peuvent être fortement influencées par le vent. En effet, les immissions sont susceptibles d'être deux fois moins importantes si le vent est deux fois plus fort.

6.6.6. Association des données relatives aux immissions et à la population

Les résultats (fichier extend.mat - données ponctuelles), issus de l'algorithme exécuté dans le logiciel Matlab, sont importés dans Access et traités dans un modèle (cf. Annexe 23). Ces traitements consistent dans la création de données ponctuelles à partir des coordonnées x et y de chacun des points et de la fusion des couches correspondant aux mêmes types d'immission étant donné que deux couches de résultats sont obtenues par type d'immission.

Ces données sont ensuite associées à celles représentant la population. Pour cela, les données ponctuelles représentant la population sont transformées en zones tampons²⁵⁹ d'une taille de

²⁵⁸ Coefficient moyen pour les différents types de véhicules : particules (0,18) ; NO_x (5,40) - MICET 2.1.

50 mètres, c'est-à-dire en données surfaciques (cercle d'un rayon de 50 mètres). La taille de la zone tampon dépend de la résolution des données relatives aux récepteurs. Il n'est en effet pas nécessaire d'avoir une résolution plus précise pour les immissions si la localisation des récepteurs ne peut pas être connue de manière aussi précise.

Une jointure²⁶⁰ spatiale est ensuite réalisée entre les données relatives à la population et les données relatives aux immissions afin de regrouper ces informations dans une seule table. Considérant l'ensemble des points compris au sein d'une entité surfacique, les données maximales d'immission sont associées à l'entité surfacique représentant la population.

En ce qui concerne les immissions sonores, des valeurs négatives peuvent être obtenues lorsque le trafic est nul, étant donné que le coefficient K vaut -5 pour le trafic routier et -15 pour le trafic ferroviaire, lorsque le trafic est inférieur respectivement à 31,6 véhicules (THD) et à 7,9 trains. Afin de corriger ces résultats, les valeurs négatives sont évaluées comme étant nulles.

Finalement, pour obtenir à nouveau des données ponctuelles pouvant être par la suite transformées en données « raster »²⁶¹, une jointure est réalisée à partir des données ponctuelles de départ et les données surfaciques contenant les immissions.

6.6.7. Calcul des immissions sonores et atmosphériques totales

Les immissions sonores totales, c'est-à-dire associant les immissions induites par le trafic ferroviaire et les immissions induites par le trafic routier, sont calculées (cf. Annexe 23) en se référant à la formule figurant dans l'annexe 3 de l'OPB (31- principes):

$$Lr_{\text{total}} = 10 * \log (10^{0,1 * Lr_{\text{route}}} + 10^{0,1 * Lr_{\text{rail}}})$$

Les immissions atmosphériques moyennes sont quant à elles calculées en tenant compte des différents champs de vent en montagne et en plaine (cf. Tableau 29).

Champs de vent	diurne		nocturne	
	plateau	Alpes	plateau	Alpes
Brise montante	(42)	(60)	-	-
Brise descendante	-	-	(42)	(60)
Vent nord est	(21) 63	(15) 75	(21) 63	(15) 75
Vent ouest	16	10	16	10
Vent sud ouest	21	15	21	15
Vents variables ²⁶²	(30)	(30)	(25)	(25)

Tableau 29 : Proportion des différents champs de vent en montagne et en plaine [%]

La contribution des différents secteurs de vent (NE, O, SO) aux immissions atmosphériques totales est principalement dépendante de la proportion des différents champs de vent en montagne comme en plaine. Toutefois, la contribution des différents secteurs de vent semble plus homogène durant la nuit et plus hétérogène durant le jour quel que soit le lieu (cf. Tableau 30 et Annexe 23).

²⁵⁹ Note de bas de page ¹⁷⁶

²⁶⁰ Note de bas de page ²¹⁴

²⁶¹ Note de bas de page ¹⁷¹ et 4.2.3

²⁶² Les vents variables ont été répartis sur les cinq situations de vent. Les vents variables représentant 30% des vents diurnes et 25% des vents nocturnes, 6% (30/5) de plus ont été attribués à chaque situation de vent diurne et 5% (25/5) à chaque situation de vent nocturne.

Champs de vent	Alpes		Plateau	
	jour	nuit	jour	nuit
NE	68	48	54	41
SO	16	23	24	28
O	16	29	22	31

Tableau 30 : Contribution moyenne des différents secteurs de vent aux immissions totales [%]

Une fois ces valeurs moyennes obtenues, les immissions atmosphériques totales, comprenant la pollution de fond, sont alors calculées (cf. Annexe 23). Pour cela, l'hypothèse selon laquelle la pollution de fond est d'environ $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en zone rurale ou en fond de vallée et de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en zone urbaine est admise (cf. Tableau 31).

moyennes annuelles	particules ²⁶³
zones rurales du plateau fonds des vallées alpines	15
zones urbaines	20

Tableau 31 : Pollution de fond [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] – (Source : Jean-Michel FALLOT)

²⁶³ Les PM_{10} représentent environ 90% des particules.

Chapitre 7. Analyse spatiale et scénario(s)

7.1. Création de zones tampons²⁶⁴

Afin d'analyser les résultats obtenus le long des différents itinéraires transalpins, des zones tampons sont créées autour du réseau ferroviaire et routier. Dans le cadre de l'application de la méthodologie, des zones tampons d'une largeur de 2 kilomètres sont élaborées. Cette largeur est choisie compte tenu des nuisances évaluées mais peut être modifiée par la suite.

A partir de l'algorithme (script²⁶⁵) permettant de simuler un transfert modal et/ou spatial du trafic transalpin de marchandises, un certain nombre d'itinéraires sont sélectionnés (cf. Tableau 32).

Itinéraires ferroviaires	Itinéraires routiers
Basel SBB - Chiasso (via Airolo)	Basel - Chiasso (via Airolo)
Basel SBB - Iselle di Trasquera (via Brig)	St.Margrethen - Chiasso (via Chur)

Tableau 32 : Itinéraires transalpins

A partir des itinéraires sélectionnés, des « sous-itinéraires » sont créés en sélectionnant les tronçons routiers ou ferroviaires se trouvant entre les principaux nœuds. Les itinéraires routier et ferroviaire, ayant une même origine et destination et dont les réseaux font partie du même corridor, sont associés (cf. Tableau 33).

Itinéraires ferroviaires	Itinéraires routiers	Numéro de la zone tampon
Basel - Olten	Basel - Olten	1
Olten - IselleDiTrasquera		2
	Olten – Altdorf (bas)	6
Olten – Altdorf (haut)		4
Altdorf - Bellinzona	Altdorf - Bellinzona	7
Bellinzona - Chiasso	Bellinzona - Chiasso	8
	St. Margrethen - Bellinzona	9

Tableau 33 : Sous-itinéraires transalpins

Une fois ces itinéraires obtenus, des zones tampons sont créées autour de chacun des itinéraires et un attribut faisant référence au numéro de la zone tampon est associé (cf. Annexe 24). Finalement, les itinéraires suivants sont obtenus (cf. Figure 41) :

²⁶⁴ Note de bas de page ¹⁷⁶

²⁶⁵ Note de bas de page ¹⁷⁵

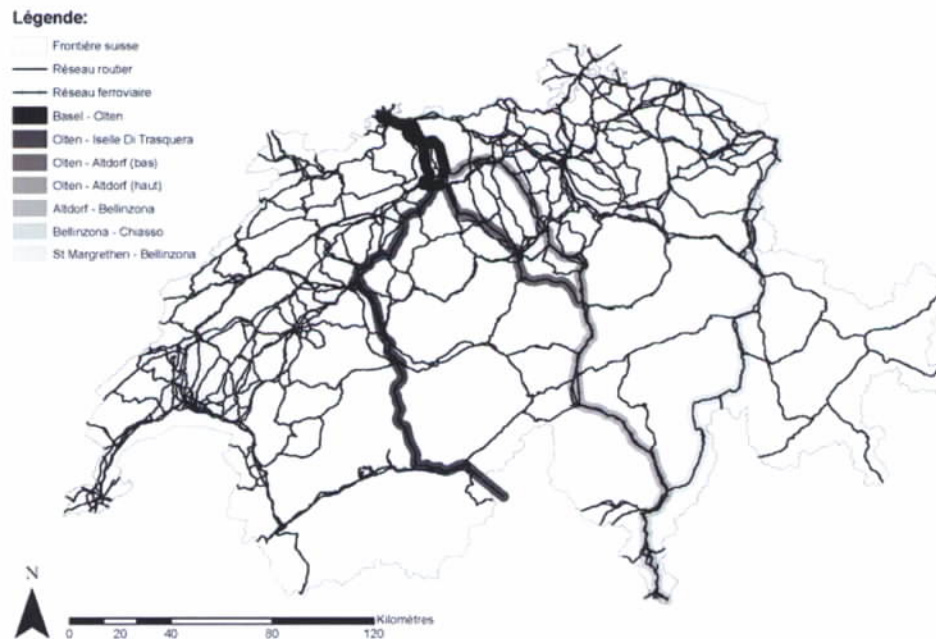


Figure 41 : Les zones tampons²⁶⁶ des « sous-itinéraires » transalpins

7.2. Création de zones homogènes

7.2.1. Choix de critères de délimitation

Compte tenu de la problématique, les critères choisis pour définir les zones homogènes font référence à la topographie (altitude et déclivité) et à la population (densité).

La considération d'autres critères a été envisagée. C'est le cas des zones agricoles selon le Cadastre de la production agricole et des territoires concernés par la Convention Alpine.

Les zones agricoles, qui sont délimitées par un nombre important de critères, présentent un découpage relativement fin. Toutefois, les critères utilisés (exposition au soleil, fréquences des gelées précoces et tardives, desserte, etc.) n'apparaissent pas être très pertinents pour la délimitation de zones homogènes.

Les territoires faisant partie de la Convention Alpine peuvent quant à eux être obtenus à partir d'un fichier regroupant les communes faisant partie de la Convention Alpine. La délimitation, basée sur l'appartenance des communes au périmètre de la Convention Alpine, ne s'avère pas non plus pertinente.

Le choix de ne pas considérer ces critères supplémentaires, et de tenir compte d'un nombre restreint de critères, est motivé par le fait que plus les critères retenus sont nombreux, plus le découpage entre les différents types de zones est fin et plus le nombre de zones homogènes augmente. Or, dans cette recherche la distinction de quatre types de zones homogènes apparaît comme suffisante pour tester la méthodologie.

²⁶⁶ Note de bas de page ¹⁷⁶

7.2.2. Elaboration des zones homogènes

Les zones homogènes sont définies au moyen de la combinaison des données « raster »²⁶⁷ relatives au terrain (altitude et déclivité²⁶⁸ - MNT) et à la population.

L'objectif est de distinguer :

- les zones de montagne à densité de population faible : « MontagneRurale »
- les zones de montagne à densité de population forte : « MontagneUrbaine »
- les zones de plaine à densité de population forte : « PlaineUrbaine »
- les zones de plaine à densité de population faible : « PlaineRurale »

Les différentes zones sont définies en fonction des critères présentés dans le Tableau 34. Les valeurs délimitant ces zones peuvent être modifiées.

Zones homogènes	Critères
zones de montagne ²⁶⁹ rurale	altitude maximale supérieure ou égale à 800 mètres déclivité maximale supérieure ou égale à 18% densité de population inférieure à 400 habitants/km ² (soit en moyenne 4 habitant/ha)
zones de montagne urbaine	altitude maximale supérieure ou égale à 800 mètres déclivité maximale supérieure ou égale à 18% densité de population supérieure ou égale à 400 habitants/km ² (soit en moyenne 4 habitant/ha) ²⁷⁰
zones de plaine rurale	altitude maximale inférieure à 800 mètres déclivité maximale inférieure à 18% densité de population inférieure à 400 habitants/km ² (soit en moyenne 4 habitant/ha)
zones de plaine urbaine	altitude maximale inférieure à 800 mètres déclivité maximale inférieure à 18% densité de population supérieure ou égale à 400 habitants/km ² (soit en moyenne 4 habitant/ha)

Tableau 34 : Critères de délimitation des zones homogènes

La conception des zones homogènes se base sur les données relatives aux récepteurs. Ainsi, la résolution des données relatives à la population (résolution de 100 mètres) étant moins fine que les données relatives à l'altitude et à la déclivité (résolution de 25 mètres), les critères altitude et déclivité pour les cellules correspondant à la population, sont déterminés à partir de statistiques²⁷¹ (Annexe 25). Pour chacun des critères une couche « raster », d'une résolution de 100 mètres, est obtenue.

Les zones homogènes peuvent ainsi être créées en fonction de la combinaison des différentes couches « raster » représentant les valeurs des différents critères²⁷². Au moyen de requêtes sont distinguées les zones de montagne, les zones de plaine, les zones urbaines et les zones rurales.

²⁶⁷ Note de bas de page ¹⁷¹

²⁶⁸ 5.2.3

²⁶⁹ Cf. évolution de la délimitation des zones agricoles selon le Cadastre de la production agricole

²⁷⁰ EPFL, Etude préliminaire du paysage et de sa dynamique, Chapitre 5, p. 70

²⁷¹ Outil « Cell statistics »

²⁷² Requête sur plusieurs rasters et création d'un nouveau raster : outil « single output map algebra ».

Ces différentes couches « raster » sont encore combinées une fois afin d'obtenir les différents types de zones homogènes, à savoir, les zones de montagne rurales, les zones de montagne urbaines, les zones de plaine rurales et les zones de plaine urbaines (cf. Figure 42).

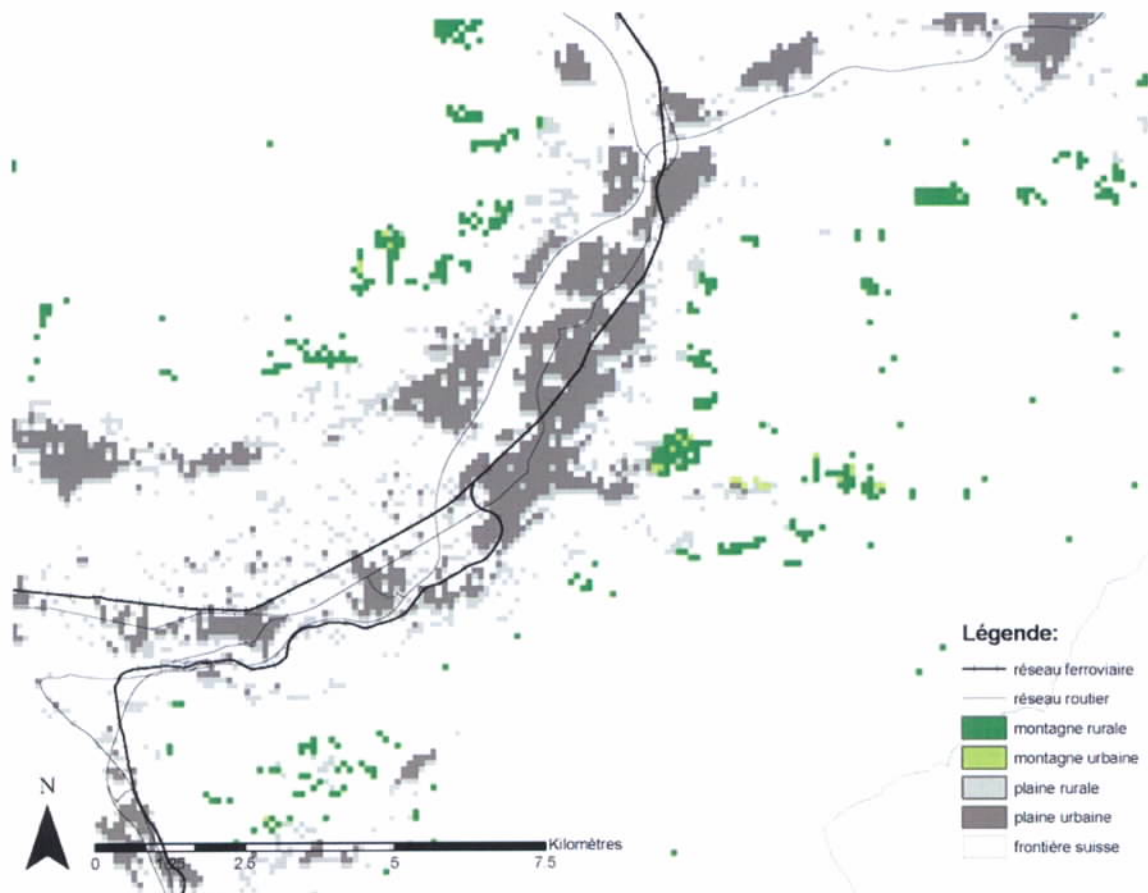


Figure 42 : Les zones homogènes (extrait)

7.2.3. Intégration des données dans le modèle

Les données relatives aux zones homogènes sont associées aux données ponctuelles contenant les valeurs relatives à la population et aux différentes immissions²⁷³ (cf. Annexe 23).

Un nouvel attribut numérique est ajouté aux données ponctuelles afin de classer ces zones (cf. Tableau 35).

zones homogènes	classes
montagne rurale	1
montagne urbaine	2
plaine rurale	3
plaine urbaine	4

Tableau 35 : Les zones homogènes

²⁷³ La valeur d'une couche raster est attribuée à chaque point : Outil « Extract values to points » (ArcGIS).

7.3. Elaboration des critères

Pour évaluer l'impact des différents trafics (cf. 4.3.1.2), des critères de vulnérabilité (cf. 4.4) sont calculés à différentes échelles.

Le critère « inter » (cf. 4.4.4.1), basé sur les émissions de CO₂, est mesuré à l'échelle de la Suisse de même que les critères « intra » (cf. 4.4.4.2). Ces derniers, estimés à partir du nombre de personnes soumises à des immissions supérieures aux valeurs limites d'immissions fixées pour les immissions sonores et atmosphériques (particules), sont aussi calculés à l'échelle des cantons, des zones tampons²⁷⁴ et des zones homogènes.

7.3.1. Le critère « inter »

Les émissions de CO₂ induites par le trafic total, « autre » et transalpin sont calculées pour l'ensemble du réseau (cf. 6.5.2, Tableau 23 et Annexe 20).

Le volume des émissions de CO₂, induites par le trafic, représente un critère de vulnérabilité à long terme pour la population. Il fait référence à la notion d'équité intergénérationnelle.

7.3.2. Les critères « intra »

Afin de calculer les critères « intra », de nouveaux champs sont ajoutés dans la table contenant les données relatives à la population et aux immissions (cf. Annexe 26). Un champ est ajouté pour chaque immission (bruit ; particules ; bruit et particules ; bruit ou particules), trafic (total ; « autre ») et période (jour ; nuit ; jour et nuit).

Au moyen de requêtes attributives, une valeur correspondant au nombre de personnes soumises à des immissions supérieures aux valeurs limites d'immission (VLI) est associée aux enregistrements sélectionnés et ceci pour chacun des champs (cf. Annexe 26).

La différence entre le nombre de personnes concernées par des immissions supérieures aux VLI, dans le cas du trafic total et dans le cas du trafic « autre », est calculée (cf. Annexe 26) afin de mesurer l'impact du trafic transalpin de marchandises, et ceci pour les différentes immissions et les différentes périodes.

Les critères « intra » sont obtenus à l'échelle de la Suisse, des cantons, des zones tampons et des zones homogènes en faisant la somme des personnes soumises à des immissions sonores et/ou de particules supérieures aux VLI et ceci pour les différents trafics et les différentes périodes (cf. Annexe 26).

7.4. Elaboration de scénarios de transfert modal et/ou spatial

La situation de l'année 1999 est appelée « scénario de base ». A partir de ce « scénario de base », la méthodologie permet d'élaborer des scénarios de transfert modal et/ou spatial d'un volume de trafic transalpin de marchandises au moyen d'un script²⁷⁵ développé dans ArcGIS (cf. 7.4.2 et Annexe 27). Chacune des simulations représente un scénario de transfert modal et/ou spatial du trafic transalpin de marchandises. Le scénario destiné à tester la méthodologie est nommé « scénario 1 ».

²⁷⁴ Note de bas de page ¹⁷⁶

²⁷⁵ Note de bas de page ¹⁷⁵

7.4.1. Un scénario « test » : le « scénario 1 »

Le « scénario 1 » consiste en un scénario de transfert modal et spatial. Ce scénario, qui permet d'évaluer l'impact d'un important transfert du trafic routier transalpin de marchandises sur le transport ferroviaire, peut être considéré comme « extrême ».

Transférant la quantité maximale de trafic routier transalpin de marchandises passant par le Gothard sur le train utilisant le tunnel du Lötschberg – Simplon (cf. Figure 43), ce scénario admet l'hypothèse selon laquelle la capacité est suffisante sur cette ligne ferroviaire.

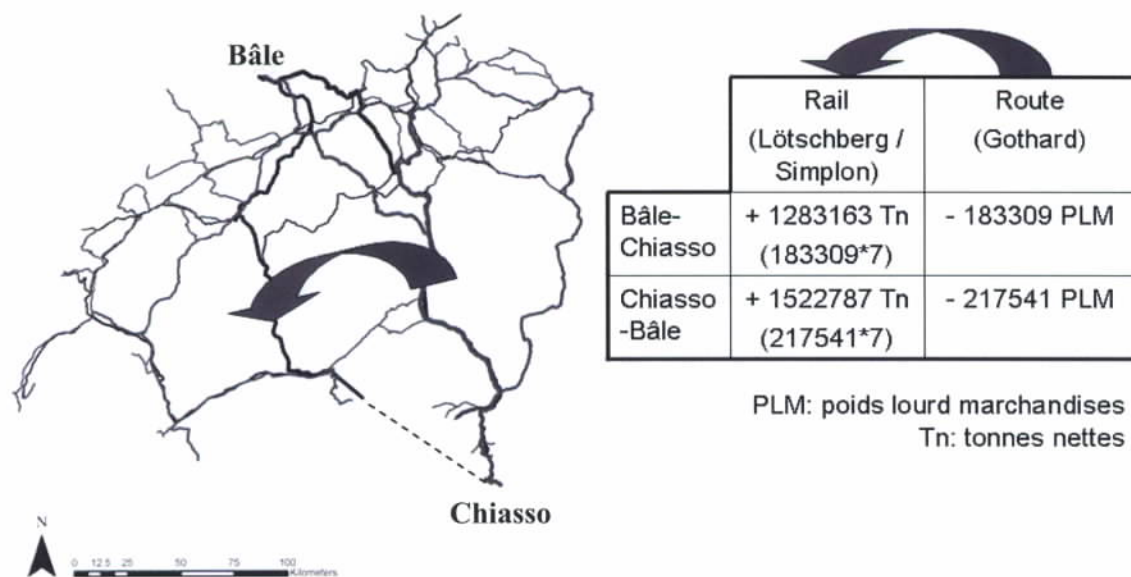


Figure 43 : Scénario de transfert modal et spatial (« scénario 1 »)

Ce scénario est élaboré à partir de l'identification du nombre maximal de poids lourds marchandises circulant entre Bâle et Chiasso et vice-versa. Admettant l'hypothèse selon laquelle l'ensemble de ces véhicules est « transférable » de la route au rail, les marchandises transportées par 183309 poids lourds circulant de Bâle à Chiasso et par 217541 poids lourds circulant de Chiasso à Bâle sont transférées sur le rail (cf. Figure 43).

Ce transfert modal tient compte des deux hypothèses suivantes :

- un poids lourd transporte en moyenne 7 tonnes nettes de marchandises²⁷⁶ ;
- un train transporte en moyenne 420 tonnes nettes de marchandises (cf. 6.2.1.1).

Le « scénario 1 » représente une situation dans laquelle le nombre de trajets routiers transalpins de marchandises est diminuée d'environ 42%. Au nombre de 965034 (1318000 selon l'ARE / AlpInfo) dans le « scénario de base », le nombre de courses à travers les Alpes est réduit à 564184 (cf. Tableau 36).

²⁷⁶ En 1999, 26,8 millions de tonnes nettes ont été transportées à travers les Alpes suisses dont 31,3% par la route et 68,7% par le rail. La même année, environ 1,2 millions de poids lourds ont franchi les Alpes suisses (ARE 2000b). Compte tenu de ces chiffres, un poids lourd franchissant les Alpes suisses transporte environ 7 tonnes nettes : (26,8 millions de tonnes nettes * 31,3%) / 1,2 millions de poids lourds marchandises.

Passages alpins	« scénario de base »	« scénario 1 »
Grand Saint Bernard	34945	34945
Simplon	22083	22083
Gothard	805591	404741 ²⁷⁷
San Bernardino	102415	102415
Total	965034	564184


Tableau 36 : Nombre de trajets transalpins de marchandises en 1999 (jour et nuit)


Cette diminution du nombre de trajets transalpins routiers de marchandises est relativement similaire à la diminution nécessaire pour obtenir un maximum de 650'000 trajets dans les années à venir. En effet, en 2004 il aurait fallu diminuer (selon la « loi sur le transfert du trafic » / cf. 1.1.5.2) d'environ 48% les trajets transalpins routiers de marchandises qui sont au nombre de 1,26 millions.

7.4.2. Elaboration des scénarios

Afin de simuler des scénarios de transfert modal et/ou spatial du trafic transalpin de marchandises, un script a été écrit dans ArcGIS (Visual Basic Editor) et stocké dans un projet ArcMap (cf. Annexe 27).

Deux fenêtres²⁷⁸ distinctes sont proposées pour transférer un volume de trafic transalpin de marchandises sur un autre mode ou sur un autre itinéraire.

Une première fenêtre (UserForm1 – cf. Annexe 27) permet de simuler un transfert modal et/ou spatial du trafic transalpin de marchandises : bouton . Après l'identification du nombre maximal de véhicules pouvant être transféré de la route au rail ou vice-versa (en deux étapes : origine - via ; via - destination), cette fenêtre permet d'ajouter ou de soustraire un ou plusieurs volumes de trafic sur un ou plusieurs modes et itinéraires.

Une seconde fenêtre (UserForm2 – cf. Annexe 27) permet, quant à elle, de simuler un transfert modal du trafic transalpin de marchandises sur un même itinéraire : bouton . L'itinéraire, concerné par l'ajout et la soustraction d'un volume de trafic sur chacun des modes de transport, est choisi en fonction des origines et destinations les plus proches et en fonction des poids définis pour les différents tronçons ferroviaires (distance) et routiers (distance ; type de route).

Ce script se base en partie sur le code développé pour associer le trafic transalpin de marchandises au réseau (cf. 6.4.1.1). Etant donné la possibilité de choisir une étape intermédiaire (« via »), la boucle, permettant de parcourir l'ensemble des tronçons compris dans la couche contenant les données de trafic et de rechercher le nœud correspondant à l'origine et au via puis au via et à la destination, est exécutée deux fois. Pour chaque paire de nœuds, le chemin le plus court est recherché et sélectionné. Parmi les tronçons sélectionnés, le nombre maximal de véhicules circulant sur cet itinéraire²⁷⁹ est identifié puis transféré. Il est nécessaire d'exécuter le script dans les deux sens de circulation (ex. : Bâle – Chiasso via

²⁷⁷ 805591 - (183309 + 217541)

²⁷⁸ En informatique, une fenêtre est une « zone rectangulaire d'un écran de visualisation dans laquelle s'inscrivent des informations graphiques ou alphanumériques. » Le Petit Larousse illustré 1999

²⁷⁹ Pour cela, il est nécessaire de demander le transfert d'un nombre de véhicules dépassant probablement la réalité. Uniquement dans ce cas le script affiche le nombre maximal de véhicules qu'il est possible de transférer. Le script doit alors être exécuté compte tenu de ce nombre de véhicules.

Airolo ; Chiasso – Bâle via Airolo) et pour les données relatives aux trafics ferroviaire et routier.

Pour faire fonctionner ce script, certaines modifications doivent être apportées aux couches contenant les données relatives aux trafics routier et ferroviaire du « scénario de base ». Ainsi, de nouveaux champs destinés notamment au stockage des résultats sont, par exemple, ajoutés (cf. Annexe 27). Pour chaque scénario, ces données sont copiées afin de créer une nouvelle couche destinée à être modifiée par le script et à représenter un nouveau scénario (ex. : le « scénario 1 »).

Avant d'exécuter le script au moyen d'une des deux fenêtres, il est nécessaire de créer deux réseaux géométriques respectivement avec les données routières et ferroviaires (nœuds et réseau) et de sauvegarder les données et bases de données routières et ferroviaires correspondant au scénario précédant (dans ce cas, le « scénario de base » - cf. Annexe 27). Ces données et le contenu des bases de données sont déplacés, étant donné que les modèles permettant de calculer les émissions (cf. 6.5), les immissions (cf. 6.6) et les critères (7.3) sont exécutés une nouvelle fois et que les chemins d'accès et de stockage des données sont les mêmes quel que soit le scénario.

Afin de tester la méthodologie et de simuler le « scénario 1 » (cf. 7.4.1), le script est exécuté au moyen de la première fenêtre (UserForm1 – cf. Annexe 27). Le nombre maximal de poids lourds marchandises qu'il est envisageable de transférer de la route au rail est de 183309 sur le parcours Bâle - Chiasso et de 217541 sur le parcours Chiasso – Bâle. Compte tenu des chiffres obtenus et des vérifications effectuées, ces poids lourds marchandises sont soustraits de chaque tronçon composant ces parcours et, dans le même temps, les tonnes nettes transportées par ces poids lourds sont transférées sur le rail : 1283163 ($183309 * 7$) tonnes nettes sont ainsi ajoutées au trafic mesuré entre Bâle et Chiasso ; 1522787 ($217541 * 7$) tonnes nettes sont ajoutées au trafic circulant dans l'autre sens (cf. Figure 43 et Annexe 27).

7.4.3. Autres scénarios possibles

Le « scénario 1 », qui permet de tester la méthodologie, est intéressant puisqu'il englobe, d'une certaine manière, les autres scénarios de transfert modal et/ou spatial pouvant être envisagés:

- scénario extrême de transfert modal et spatial du trafic ferroviaire transalpin de marchandises : transfert du trafic ferroviaire transalpin de marchandises (Lötschberg/Simplon et Gothard) sur la route (Gothard) ;
- scénario de transfert modal au Gothard : transfert du trafic routier transalpin de marchandises sur le rail ;
- scénario de transfert spatial du trafic routier : transfert du trafic routier transalpin de marchandises du San Bernardino au Gothard ;
- autre scénario de transfert spatial du trafic routier : transfert du trafic routier transalpin de marchandises du Gothard au San Bernardino ;
- scénario de transfert spatial du trafic ferroviaire : transfert du trafic ferroviaire transalpin de marchandises du Gothard au Lötschberg/Simplon ;
- scénario des 650000 trajets transalpins de marchandises par an ;
- scénarios tenant compte des Nouvelles Liaisons Ferroviaires Alpines (NLFA).

L'effet de ces scénarios peut, la plupart du temps, être déduit du « scénario 1 ». Ainsi, par exemple, l'évaluation de la capacité ferroviaire induite par le scénario de transfert modal et spatial testé permet d'évaluer l'intérêt des NLFA. L'effet d'autres transferts spatiaux et/ou modaux peut également être déduit de ce scénario représentant une situation extrême.

Chapitre 8. Résultats

8.1. Résultats obtenus

8.1.1. Emissions de polluants atmosphériques et critère « inter » à l'échelle de la Suisse

8.1.1.1. Scénario de base

L'application de la méthodologie révèle qu'en 1999, le trafic routier total (VT, VL, PLM, MC, CAR)²⁸⁰ est à l'origine d'importantes émissions à l'échelle de la Suisse : CO₂ (7791770 tonnes) ; CO (80791 tonnes) ; NO_x (40126 tonnes) ; HC (6372 tonnes) ; SO₂ (1366 tonnes) ; PM (982 tonnes)²⁸¹ - (cf. Tableau 23).

La quantité d'émissions de CO₂ représente un critère de vulnérabilité à long terme ou d'équité intergénérationnelle.

Dans le cadre de cette recherche, ce critère ne semble pas être surévalué étant donné que l'étude de l'OFEV (OFEFP 2004a) indique un volume d'émissions supérieur pour la même année à savoir plus de 10 tonnes de CO₂ (cf. Tableau 24).

Les émissions de polluants atmosphériques proviennent des différents types de véhicules routiers dont la participation varie en fonction des polluants atmosphériques (cf. Figure 44).

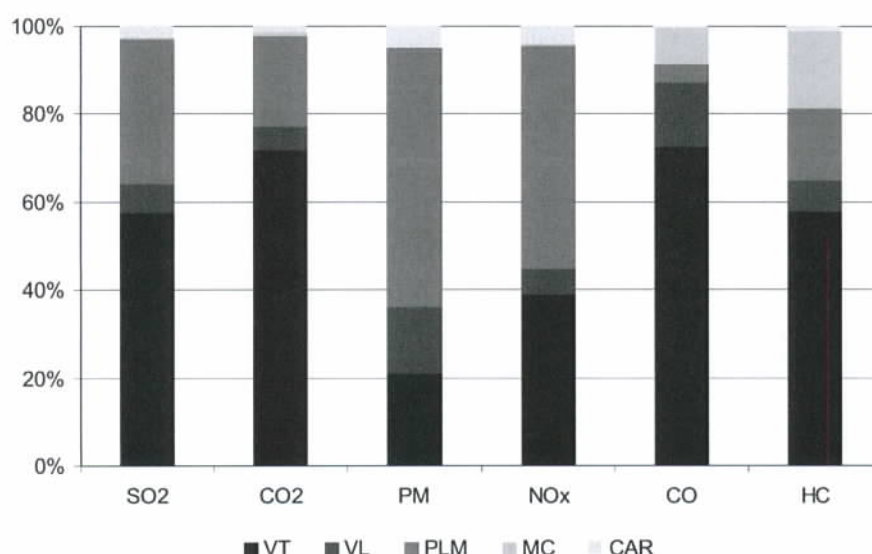


Figure 44 : Proportion d'émissions induites par les différents types de véhicules (« scénario de base »)

Les voitures de tourisme sont à l'origine de la majorité des émissions de CO (73%), CO₂ (72%), SO₂ (58%) et de HC (58%) en Suisse (% des émissions totales).

²⁸⁰ VT (voitures de tourisme) ; VL (voitures de livraison) ; PLM (poids lourds marchandises) ; MC (motocycles) ; CAR (cars et bus).

²⁸¹ CO₂ (dioxyde de carbone) ; CO (monoxyde de carbone) ; NO_x (oxyde d'azote) ; HC (hydrocarbures) ; SO₂ (dioxyde de soufre) ; PM (particules).

Les émissions de PM et de NO_x sont, quant à elles, principalement induites par les poids lourds marchandises (respectivement 59% et 51% des émissions totales en Suisse - cf. Figure 44). Les poids lourds marchandises participent ainsi fortement aux émissions de deux polluants considérés comme les plus nocifs à l'échelle locale. Affectant les êtres humains et la végétation, ces polluants sont souvent utilisés comme indicateurs. Les poids lourds marchandises, qui contribuent dans des proportions moins importantes aux autres émissions atmosphériques, sont toutefois à l'origine de 20% des émissions totales de CO₂ en Suisse (1,6 millions de tonnes).

La Figure 45 montrent que les émissions de PM et de NO_x sont principalement induites par le trafic routier de marchandises « autre » (respectivement 52% et 41% des émissions totales en Suisse).

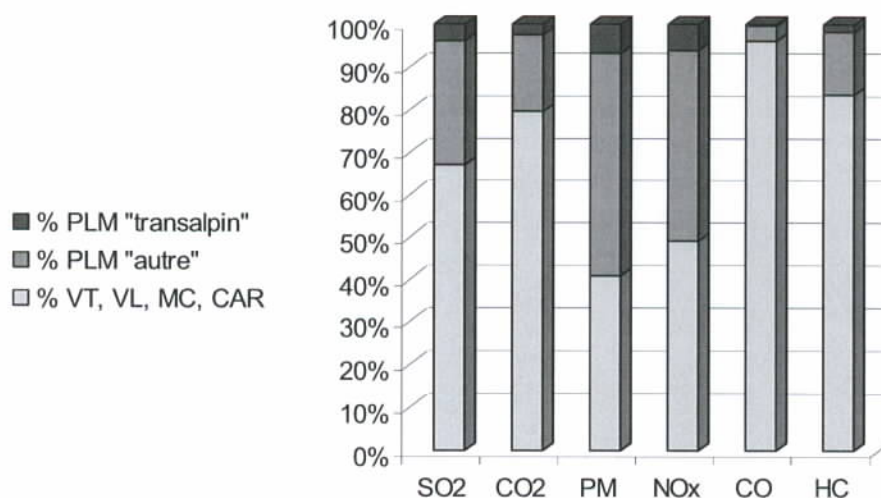


Figure 45 : Participation des différents types de trafics aux émissions atmosphériques (« scénario de base »)

Le trafic routier transalpin de marchandises (cf. Figure 46), participe à environ 12% des émissions induites par l'ensemble des poids lourds marchandises en Suisse. Ce trafic, qui est à l'origine de 2,5% des émissions totales de CO₂ en Suisse, soit 192645 tonnes, est responsable de 7% des émissions totales de PM et de 6% des émissions totales de NO_x au niveau national (cf. Figure 46).

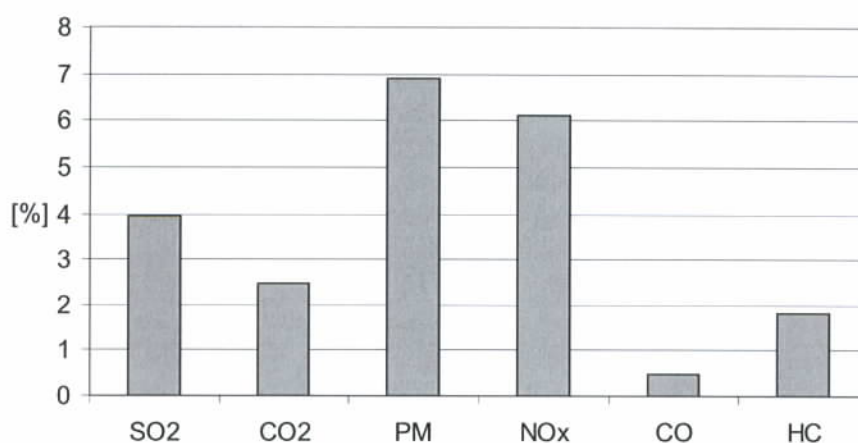


Figure 46 : Proportion des émissions induites par le trafic transalpin de marchandises par rapport au trafic total en Suisse (« scénario de base »)

La participation plus importante du trafic transalpin de marchandises aux émissions de PM et de NO_x par rapport aux émissions de CO₂ fait que ce trafic est susceptible d'avoir un impact plus important sur le court terme (équité intragénérationnelle) que sur le long terme (équité intergénérationnelle).

8.1.1.2. « Scénario1 »

Le « scénario 1 » (cf. 7.4.1) qui simule un transfert modal d'une partie du trafic transalpin de marchandises de la route au rail entraîne, par conséquent, une diminution générale des émissions atmosphériques (cf. Figure 47).

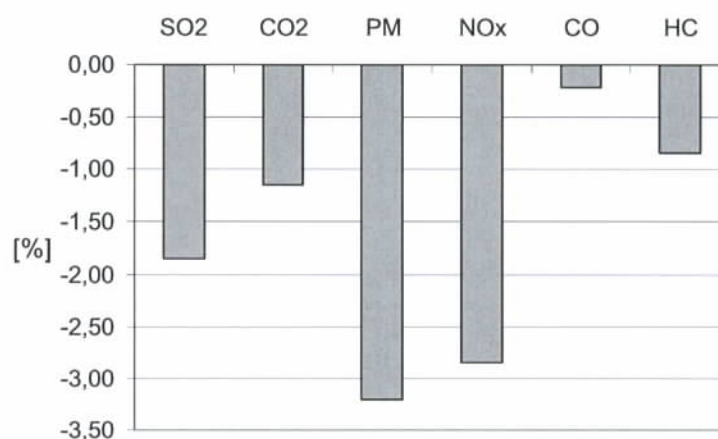


Figure 47 : Influence du « scénario 1 » sur les émissions atmosphériques totales

A l'échelle de la Suisse, cette réduction des émissions atmosphériques peut paraître relativement faible. Les émissions de PM et de NO_x sont réduites de respectivement 3,2% et de 2,9% et celles de CO₂ d'un peu plus de 1% soit 89799 tonnes.

Toutefois, ce scénario est à l'origine de la diminution d'environ 40% des émissions induites par le trafic transalpin de marchandises²⁸².

8.1.2. Critères « intra »

8.1.2.1. A l'échelle de la Suisse

8.1.2.1.4. Scénario de base

A l'échelle de la Suisse, l'ensemble du trafic routier et ferroviaire soumet davantage de personnes à des dépassements des valeurs limites d'immission sonores et de particules durant le jour que durant la nuit (cf. Figure 48). Cette différence, marquée en ce qui concerne les particules (5 fois plus élevée le jour que la nuit), est plus faible en ce qui concerne les immissions sonores (différence d'environ 1%).

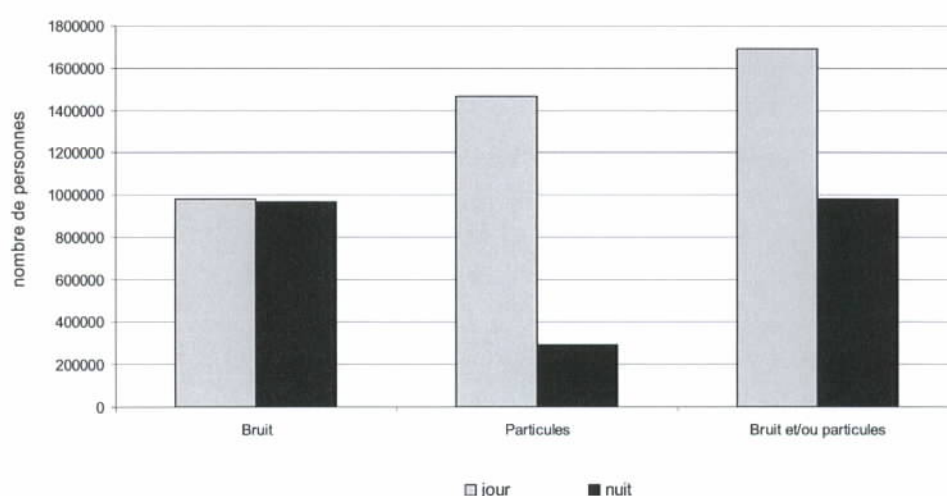


Figure 48 : Nombre de personnes soumises à des immissions supérieures aux VLI (trafic total / « scénario de base »)

Les résultats obtenus révèlent qu'en Suisse, de jour, environ 13 % de la population suisse (980361 personnes²⁸³) est soumise à des immissions sonores supérieures aux VLI. En ce qui concerne les immissions de particules, ce pourcentage atteint 20% de la population suisse (1466260 personnes). Finalement, environ 23% de la population suisse, soit plus de 1,5 millions²⁸⁴ de personnes, est soumise à des immissions sonores et/ou de particules supérieures aux VLI.

La Figure 49 qui représente le nombre de personnes par hectare soumises à des immissions sonores et/ou de particules supérieures aux VLI est un extrait des résultats obtenus au niveau national.

²⁸² Le trafic transalpin de marchandises émet alors environ 7% des émissions induites par les poids lourds marchandises en Suisse et non plus 12%.

²⁸³ Environ 7288010 personnes habitent en Suisse en 2000.

²⁸⁴ 2446621 personnes.

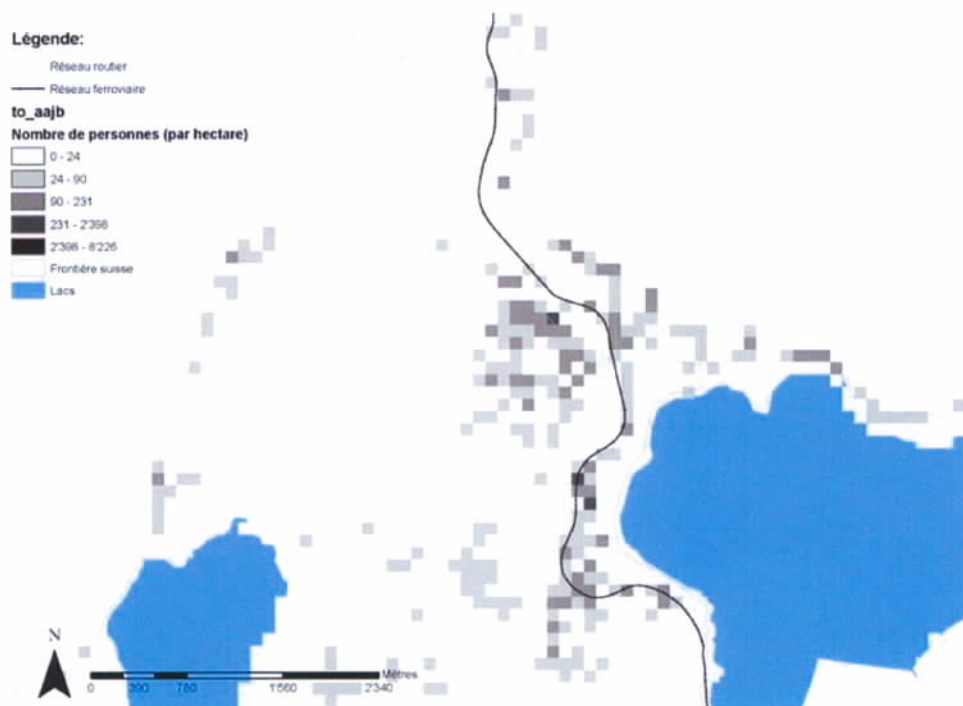


Figure 49 : Nombre de personnes soumises à des immissions sonores et/ou de particules supérieures aux VLI (extrait des résultats obtenus pour la Suisse)

A l'échelle nationale, le trafic transalpin de marchandises a une influence plus importante sur le nombre de personnes concernées par le dépassement des VLI relatives aux particules que relatives au bruit.

Durant la journée, ce trafic soumet environ 0,6% de la population suisse (44775 personnes) à des immissions de particules considérées comme trop importantes (cf. Figure 50). La nuit, ce pourcentage est inférieur.

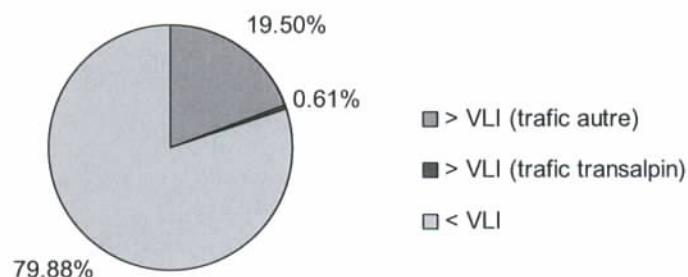


Figure 50 : Pourcentage de la population suisse soumise à des immissions de particules supérieures aux VLI (jour / « scénario de base »)

La nuit, moins de 0,1% de la population suisse (5568 personnes) est concerné par des immissions sonores supérieures aux VLI (cf. Figure 51).

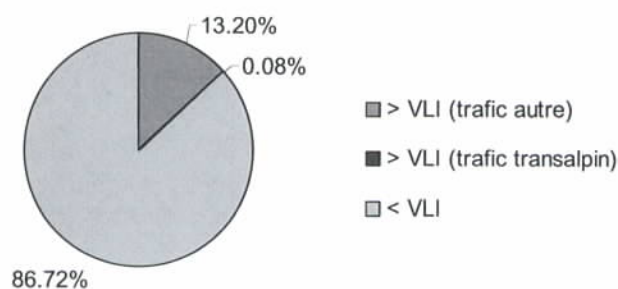


Figure 51 : Pourcentage de la population suisse soumise à des immissions sonores supérieures aux VLI (nuit / « scénario de base »)

Les émissions et, par conséquent, les immissions induites par le trafic transalpin de marchandises se concentrent au niveau des principaux itinéraires alpins (cf. Figure 52).

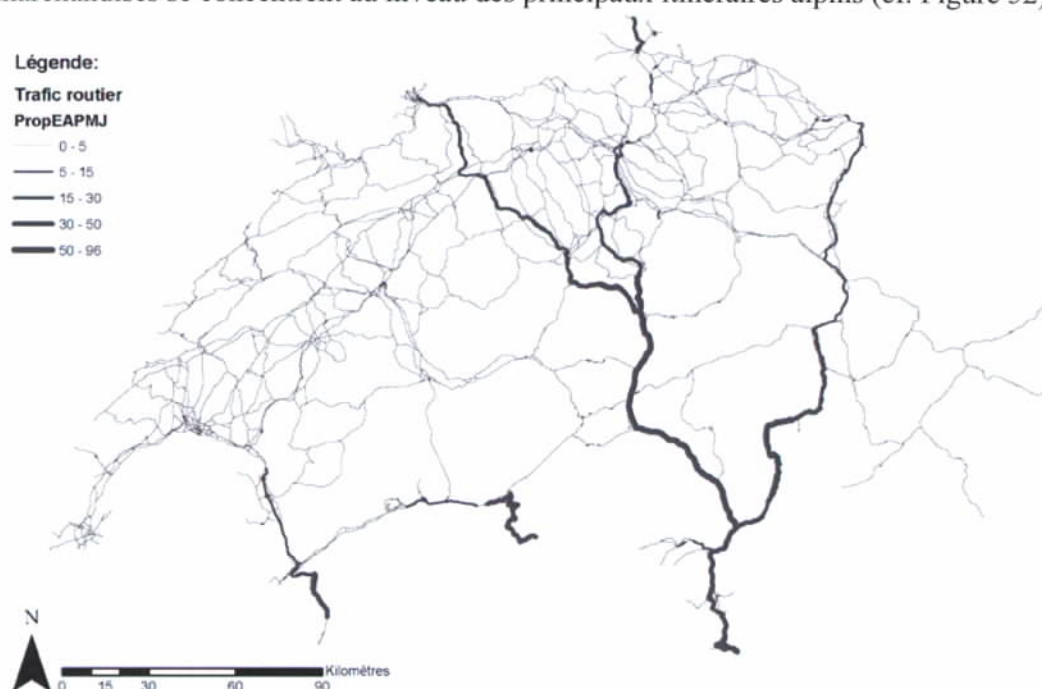


Figure 52 : Proportion d'émissions de particules induites par le trafic transalpin routier de marchandises durant le jour (« scénario de base »)

8.1.2.1.5. « Scénario1 »

Le transfert modal d'une partie du trafic routier transalpin de marchandises sur le rail n'a pas d'effet sur le nombre de personnes concernées par des immissions sonores supérieures aux VLI.

Par contre, ce trafic a une influence sur le nombre de personnes soumises à des immissions de particules trop importantes. En effet, les résultats montrent que 0,26 % de la population suisse (18909 personnes) ne serait plus concerné par des immissions de particules diurnes supérieures aux VLI dans le cas de ce scénario.

8.1.2.2. A l'échelle des cantons

Les critères « intra » sont calculés pour les 26 cantons suisses. La Figure 53 représente les différents cantons en tons grisés.

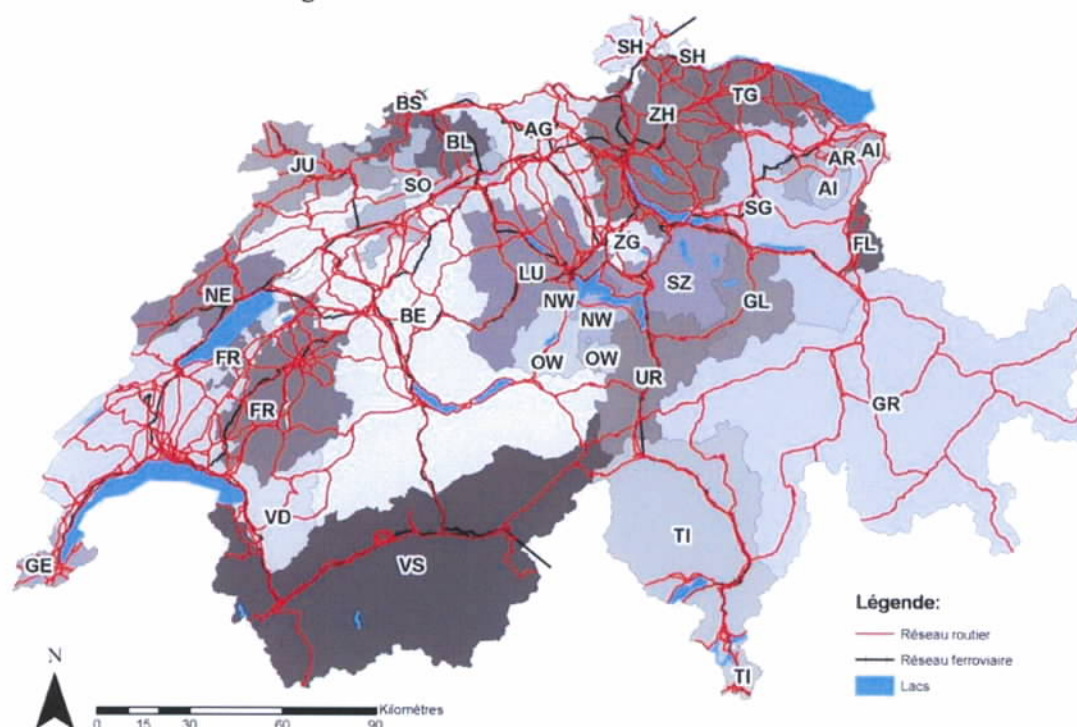


Figure 53 : Les cantons suisses et les réseaux routier et ferroviaire²⁸⁵

8.1.2.2.6. Scénario de base

Les immissions sonores et de particules induites par les trafics routier et ferroviaire concernent l'ensemble des cantons et, plus particulièrement, les cantons de Zürich, Bern, Bâle-ville (Basel-Stadt), Vaud, Uri et Lucerne (Luzern). Le nombre de personnes, de même que la proportion de personnes soumises à des immissions supérieures aux VLI, sont importants dans ces cantons (cf. Tableau 37).

²⁸⁵ Cantons : AG (Argovie), AI (Appenzell Rhodes-Intérieures), AR (Appenzell Rhodes-Extérieure), BE (Berne), BL (Bâle-Campagne), BS (Bâle-Ville), FR (Fribourg), GE (Genève), GL (Glaris), GR (Grisons), JU (Jura), LU (Lucerne), NE (Neuchâtel), NW (Nidwald), OW (Obwald), SG (St-Gall), SH (Schaffhouse), SO (Soleure), SZ (Schwyz), TG (Thurgovie), TI (Tessin), UR (Uri), VD (Vaud), VS (Valais), ZG (Zoug), ZH (Zürich). FL : Liechtenstein

>VLI (maximum jour - nuit)	Nombre de personnes > 100000		Proportion de personnes > 25%	
Immissions sonores	Zürich Vaud Bern	137081 130366 129447	Uri	27%
Immissions de particules	Zürich Bern Basel-Stadt Vaud	360484 174214 131546 120446	Basel-Stadt Zürich Basel-Land Uri	71% 29% 28% 27%
Immissions sonores et/ou de particules	Zürich Bern Vaud Basel-Stadt Aargau	377714 204975 165443 131805 111504	Basel-Stadt Uri Basel-Land Vaud	71% 33% 30% 26%

Tableau 37 : Principaux cantons dont la population est soumise à des immissions supérieures aux VLI

Le nombre le plus élevé de personnes soumises à des immissions supérieures aux VLI s'observe dans les cantons comprenant les villes les plus importantes du plateau suisse à savoir Zürich, Genève, Bâle, Berne, Lausanne et St Gall.

La méthodologie se focalisant davantage sur le trafic interurbain que sur le trafic urbain, il est toutefois fort probable que les valeurs soient sous-estimées pour les cantons comprenant de grandes villes.

En ce qui concerne les immissions sonores, les résultats en nombre de personnes s'avèrent hétérogènes entre les différents cantons mais relativement similaires entre le jour et la nuit (Figure 54). Les cantons de Zürich, Bern et Vaud compte un nombre important de personnes soumises à des immissions sonores considérées comme trop élevées (cf. Tableau 37 et Figure 54).

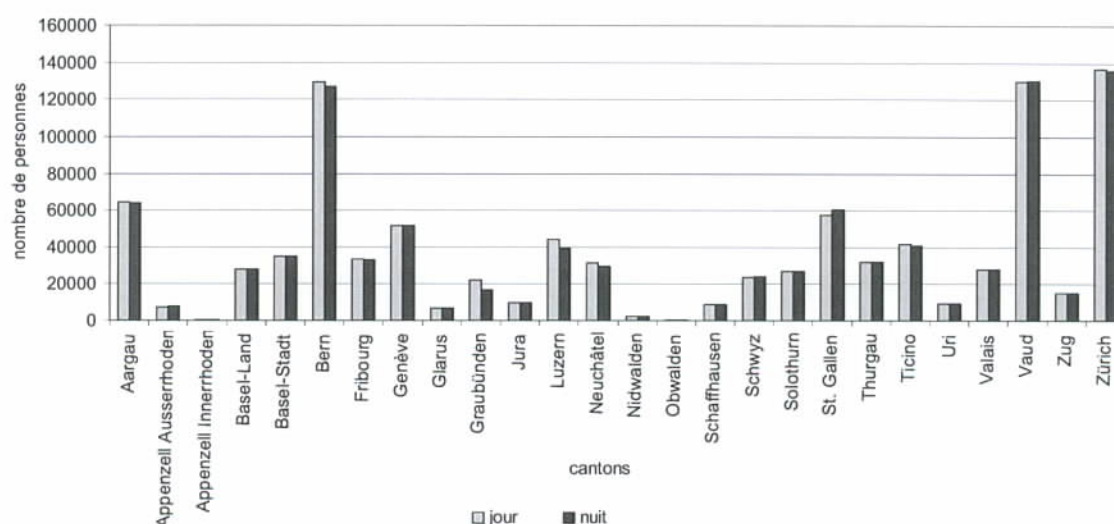


Figure 54 : Nombre de personnes soumises à des immissions sonores supérieures aux VLI (trafic total / « scénario de base »)

L'hétérogénéité entre les cantons est encore plus frappante en ce qui concerne les immissions de particules (cf. Figure 55). En effet, les cantons de Zürich et, dans une moindre mesure Berne, comptent respectivement plus de 360000 et 170000 personnes soumises à des immissions de particules supérieures aux VLI. La Figure 55 montre que la situation s'avère plus critique de jour que de nuit en ce qui concerne les immissions de particules.

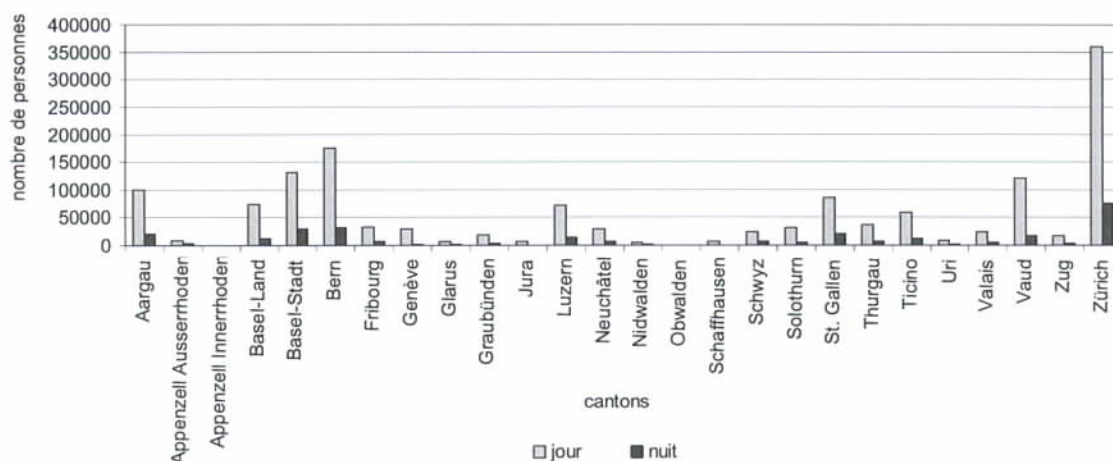


Figure 55 : Nombre de personnes soumises à des immissions de particules supérieures aux VLI (trafic total / « scénario de base »)

Afin de comparer la situation dans les cantons plus ou moins urbanisés, la proportion de personnes soumises à des immissions supérieures aux VLI est considérée. Ces résultats, plus homogènes, aident à comprendre les réactions des habitants face aux immissions du trafic, étant donné que la proportion de personnes concernées a sans doute une influence sur les comportements ou sur le sentiment de vulnérabilité. De plus, ces proportions, qu'il est possible d'obtenir à différentes échelles, permettent d'appréhender la notion d'équité intragénérationnelle.

En ce qui concerne les immissions sonores, c'est la population du canton d'Uri qui est la plus affectée (25% de la population du canton est soumise à des immissions sonores supérieures aux VLI) loin devant les cantons de Vaud, Bâle-ville, Neuchâtel, Schwyz, Glaris et Zug dont la proportion de personnes soumises à des immissions sonores supérieures aux VLI se trouve entre 15 et 20% (cf. Figure 56). L'ensemble de ces cantons présente une proportion largement supérieure à la moyenne suisse qui est de 13,45% de jour et 13,28% de nuit.

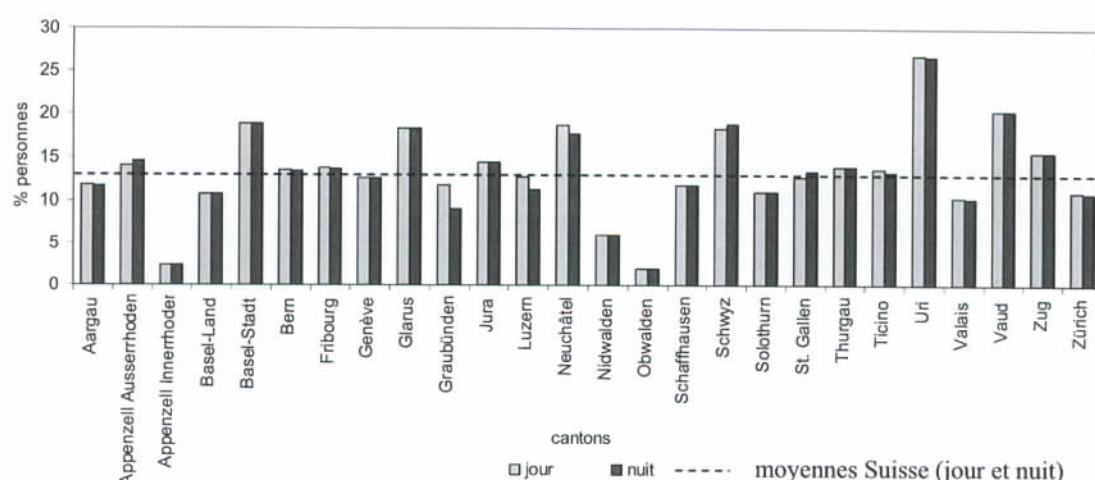


Figure 56 : Proportion de personnes soumises à des immissions sonores supérieures aux VLI (trafic total / « scénario de base »)

Les immissions de particules affectent, quant à elles, principalement la population du canton de Bâle-ville où plus de 70% de la population du canton est soumise à des immissions supérieures aux VLI (cf. Figure 57). Les cantons de Zürich, Uri et Bâle-campagne (Basel-Land), présentant des proportions supérieures à 25%, dépassent la valeur moyenne obtenue au niveau national (20%).

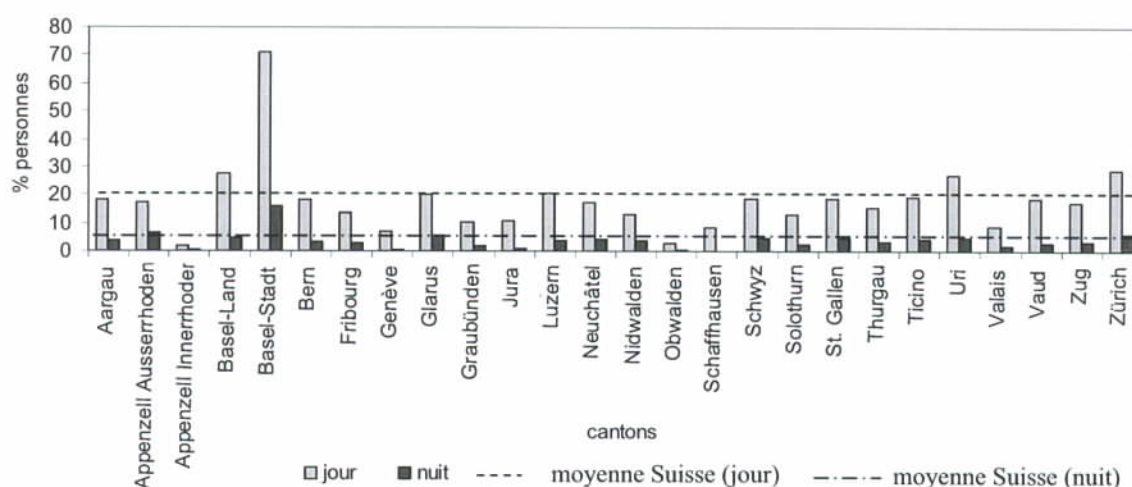


Figure 57 : Proportion de personnes soumises à des immissions de particules supérieures aux VLI (trafic total / « scénario de base »)

La vulnérabilité de la population aux immissions sonores et de particules, peut être évaluée à partir de la proportion de personnes soumises à des immissions sonores et/ou de particules supérieures aux VLI. La Figure 58 montre que, dans ce cas, plus de 70% de la population du canton de Bâle-ville est « vulnérable » au trafic, compte tenu des immissions sonores et de particules. Le canton d'Uri est également très vulnérable (33% de la population du canton est soumise à des immissions sonore et/ou de particules supérieures aux VLI).

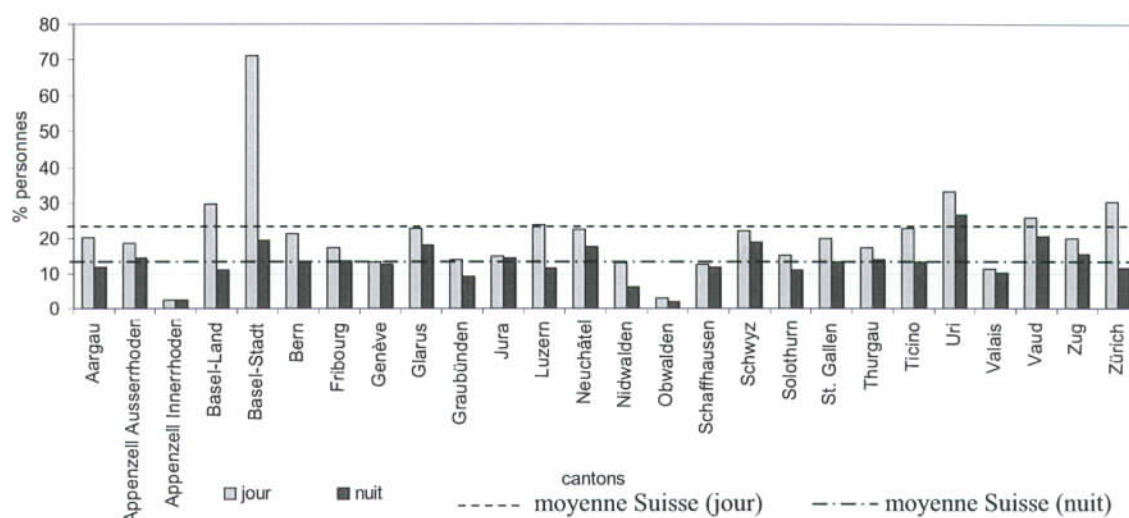


Figure 58 : Proportion de personnes soumises à des immissions sonores et/ou de particules supérieures aux VLI (trafic total / « scénario de base »)

Le trafic transalpin de marchandises a, comme au niveau national, principalement un impact sur le nombre de personnes soumises à des immissions de particules diurnes. La population des cantons d'Uri, de Nidwald (Nidwalden), du Tessin (Ticino) et de Lucerne (Luzern) est concernée de manière significative (cf. Figure 59).

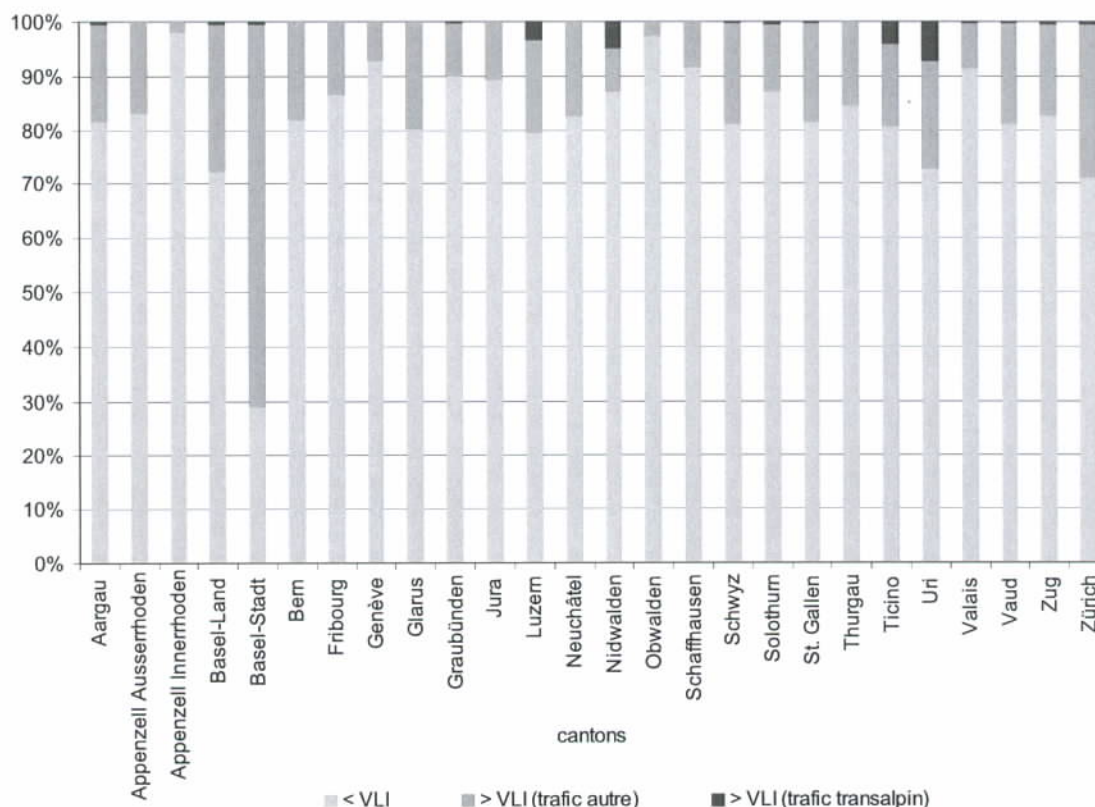


Figure 59 : Proportion de personnes soumises à des immissions de particules diurnes inférieures ou supérieures aux VLI dans chaque canton (« scénario de base »)

En effet, plus de 3% de la population de ces cantons est soumise à des immissions de particules supérieures aux VLI compte tenu de la participation du trafic transalpin de marchandises (cf. Figure 60). Les cantons situés le long de l'itinéraire routier Bâle-Chiasso sont davantage concernés par un dépassement des VLI compte tenu du trafic transalpin de marchandises que les cantons de Bâle (ville et campagne), de Zürich, d'Argovie, de Soleure et de Zug également concernés par un tel dépassement (cf. Figure 59).

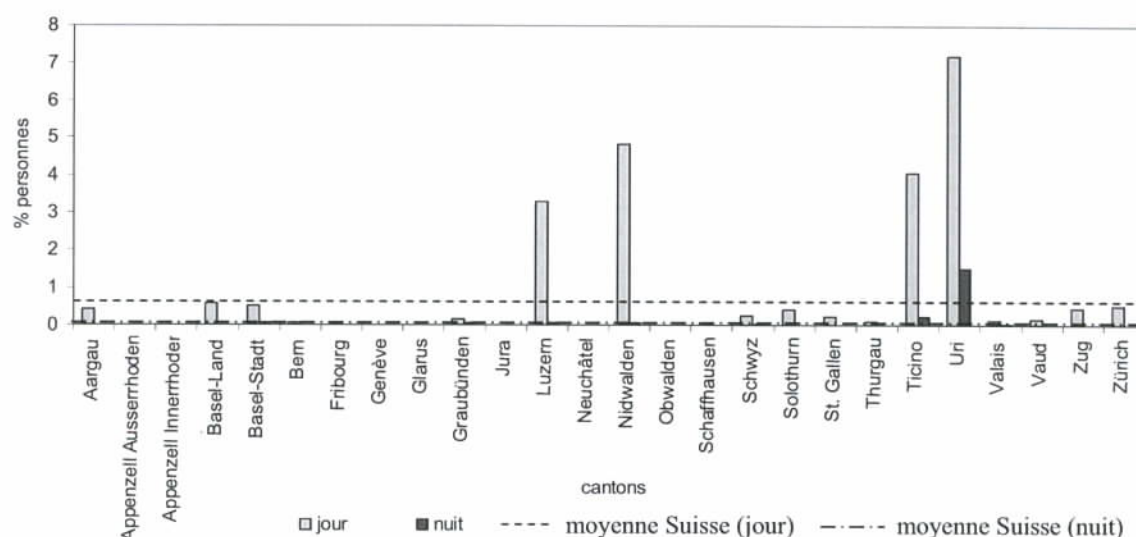


Figure 60 : Influence du trafic transalpin (immissions de particules / « scénario de base »)

En nombre de personnes, ce sont les cantons du Tessin (12446 personnes) et de Lucerne (11499 personnes) qui présentent les valeurs les plus élevées devant les cantons de Zürich (6248 personnes) et d'Uri (2492 personnes).

L'influence du trafic transalpin sur les immissions sonores est bien plus faible et se perçoit principalement durant la nuit. En effet, le nombre de personnes concernées par des immissions supérieures aux VLI ne dépasse pas 3500 personnes dans un canton et n'atteint de ce fait jamais plus de 1% de la population d'un canton (cf. Figure 61). Les valeurs obtenues pour les cantons de Schwyz et surtout de St Gall, bien qu'elles soient faibles, sont surprenantes. Cela pourrait s'expliquer par la présence d'une entreprise dont les importations et exportation ont lieu par transport ferroviaire.

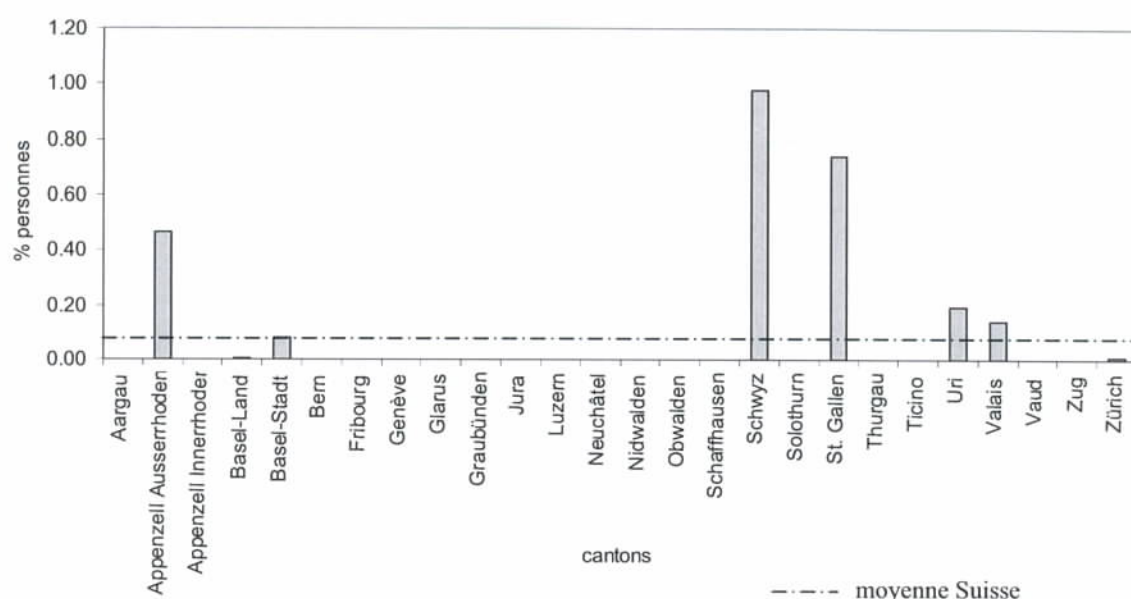


Figure 61 : Influence du trafic transalpin (immissions sonores / nuit / « scénario de base »)

Dans l'ensemble, c'est la population des cantons situés le long du corridor du Gothard qui est la plus vulnérable (cf. 3.6) au trafic transalpin. Cela s'explique par les volumes de trafic routier et ferroviaire transalpins circulant sur ce corridor.

Ce qui surprend davantage est la vulnérabilité particulièrement marquée des cantons « alpins » se trouvant le long de ce corridor par rapport aux autres cantons. En effet, les cantons d'Uri, du Tessin, de Nidwald et de Lucerne dénombrent une proportion de personnes, soumise à des immissions sonores et/ou de particules supérieures aux VLI, bien supérieure aux autres cantons à l'exception du canton de Lucerne (cf. Figure 62).

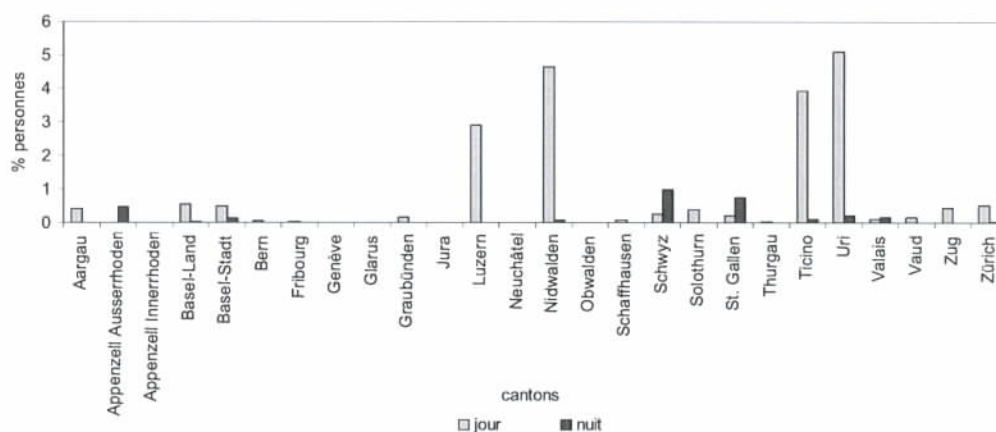


Figure 62 : Influence du trafic transalpin (immissions sonores et/ou de particules / « scénario de base »)

8.1.2.2.7. « Scénario1 »

La diminution du nombre de personnes concernées par des immissions de particules supérieures aux VLI, observée au niveau national, se répartit dans cinq cantons à savoir les cantons du Tessin, d'Uri, de Nidwald, de Lucerne et d'Argovie (cf. Figure 63).

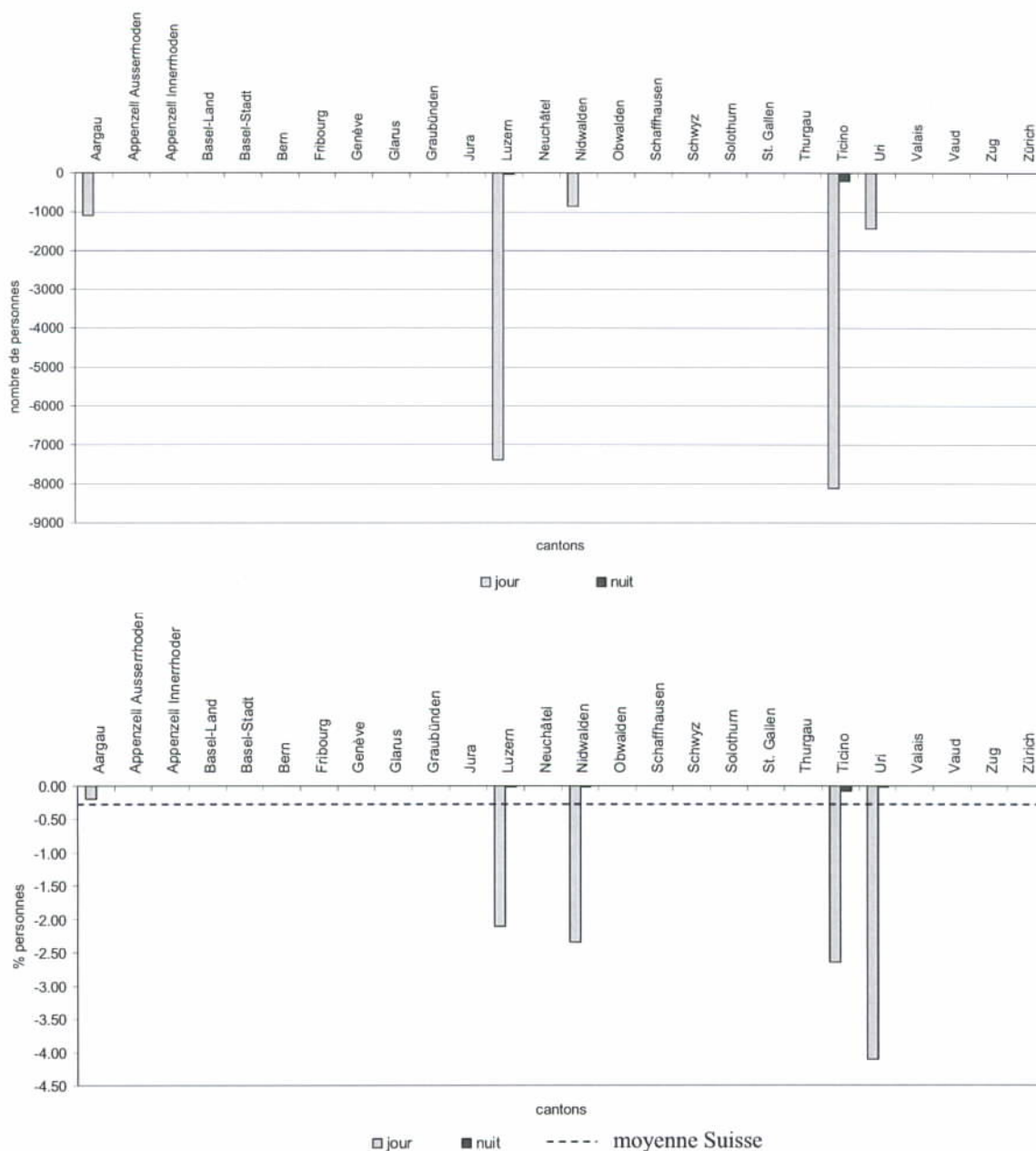


Figure 63 : Influence « scénario 1 » (immissions de particules)

Cette diminution n'est pas perceptible dans d'autres cantons soumis à des immissions importantes par exemple le canton de Bâle-ville. Cela s'explique par le fait que la réduction des immissions, induite par le scénario de transfert modal et spatial, ne réduit sans doute pas suffisamment les immissions. Par conséquent, les personnes sont toujours soumises à des immissions supérieures aux VLI.

8.1.2.3. Par zones tampons²⁸⁶

Afin de tester la méthodologie, sept zones tampons sont créées (cf. 7.1). Parmi ces zones tampons quatre représentent des corridors transalpins:

- Olten - Iselle Di Trasquera
- Altdorf – Bellinzona
- St. Margrethen – Bellinzona
- Bellinzona – Chiasso

Ces zones tampons sont choisies en fonction d'une origine et d'une destination relatives au réseau routier ou ferroviaire. Ainsi, les zones tampons Olten – Iselle Di Trasquera et Olten – Altdorf (haut) sont élaborés à partir du réseau ferroviaire, la zone tampon Olten – Altdorf (bas) à partir du réseau routier, et les autres à partir des réseaux routier et ferroviaire (Bâle – Olten ; Altdorf – Bellinzona ; Bellinzona - Chiasso).

Quel que soit le réseau à l'origine de leur création, les résultats obtenus pour chacune des zones tampons est susceptible de regrouper des immissions sonores et de particules provenant des deux modes de transport. Ainsi, par exemple, la zone tampon Olten – Iselle Di Trasquera, défini à partir du réseau ferroviaire, contient des valeurs relatives aux immissions de particules provenant du trafic routier circulant sur le plateau.

Comme pour les résultats obtenus au niveau cantonal, les résultats en proportion de personnes s'avèrent souvent plus intéressants que les résultats en nombre de personnes pour comparer la situation le long de ces zones tampons de taille très inégale.

Il serait intéressant et possible de créer, par la suite, des zones tampons de taille similaire le long de l'ensemble du réseau. Cela n'a pas été réalisé dans le cadre de cette recherche étant donné qu'aucun outil n'est adapté actuellement pour créer des tronçons et, par conséquent, des zones tampons de taille égale.

8.1.2.3.8. Scénario de base

De jour, la proportion de personnes, soumises à des immissions de particules supérieures aux VLI (cf. Figure 64), est particulièrement élevée le long de la zone tampon Bâle – Olten - où plus de 50% des personnes comprise dans cette zone sont concernées (153389 personnes) - et le long de la zone tampon Olten – Altdorf (bas). La Figure 64 montre que seules deux zones tampons ont des proportions inférieures aux proportions observées au niveau national.

²⁸⁶ Note de bas de page ¹⁷⁶

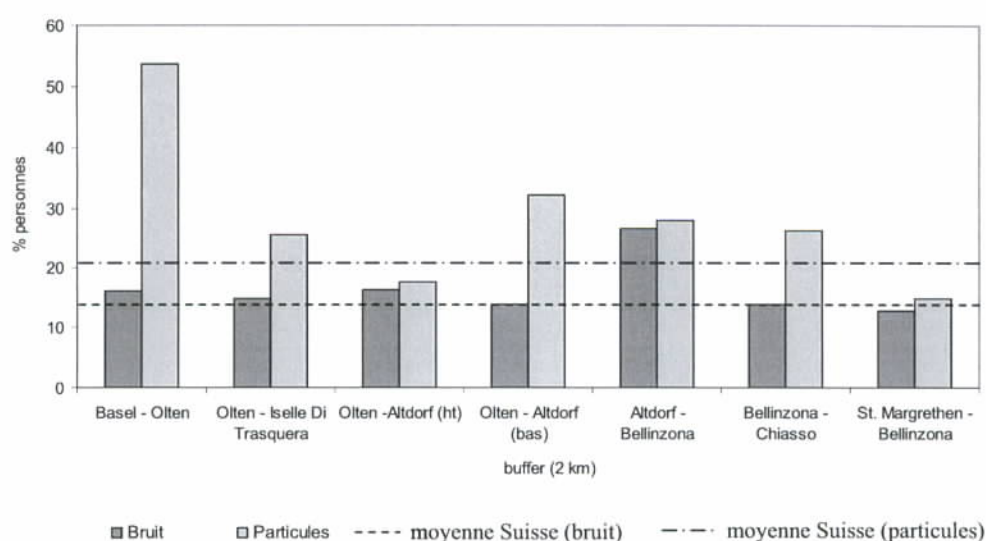


Figure 64 : Proportion de personnes soumises à des immissions supérieures aux VLI (jour / trafic total / « scénario de base »)

La zone tampon Altdorf – Bellinzona présente, quant à elle, une proportion relativement élevée de la population soumise à des immissions de particules mais également à des immissions sonores supérieures aux VLI (27% de la population de la zone tampon soit 13372 personnes). Cela est probablement lié aux volumes de trafic importants circulant sur des infrastructures ferroviaire et routière situées dans des vallées étroites où se concentre la population.

La situation le long de la zone tampon Altdorf - Bellinzona est d'autant plus préoccupante lorsque l'on considère la proportion des personnes soumises à des immissions sonores supérieures aux VLI durant la nuit (cf. Figure 65). En effet, il apparaît que toujours 27% des personnes habitant au sein de cette zone tampon sont concernées par des immissions sonores trop importantes.

La faible variation de la proportion des personnes soumises à des immissions sonores supérieures aux VLI durant le jour ou la nuit peut s'expliquer en partie par une circulation importante de poids lourds marchandises durant le jour, compensée la nuit par un volume important de trafic ferroviaire de marchandises. Toutefois, cette situation reste surprenante le long de la zone tampon St. Margrethen – Bellinzona qui est principalement concernée par du trafic routier.

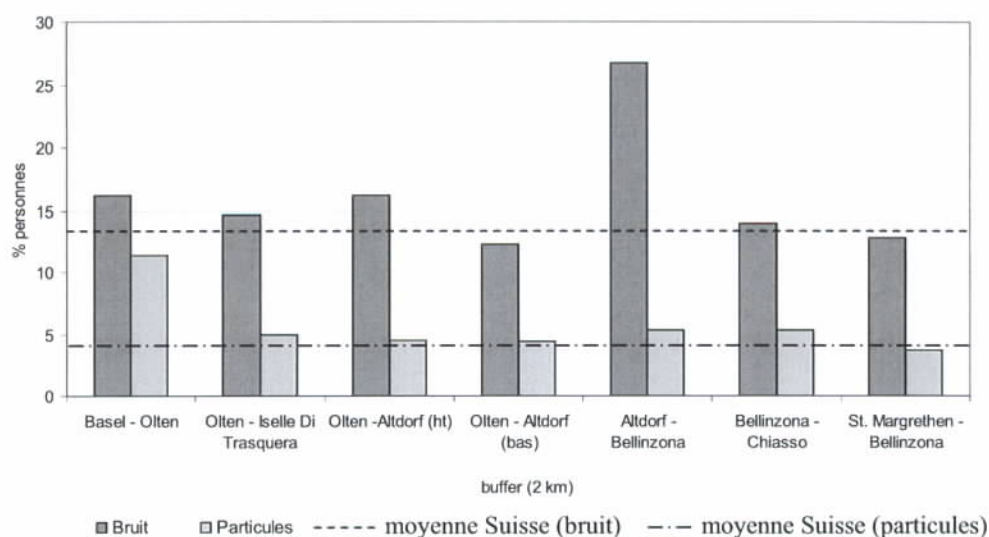


Figure 65 : Proportion de personnes soumises à des immissions supérieures aux VLI (nuit / trafic total / « scénario de base »)

Les résultats obtenus en nombre de personnes montrent qu'environ 153389 personnes sont soumises à des immissions diurnes de particules supérieures aux VLI le long de la zone tampon Bâle – Olten et qu'environ 56304 personnes sont soumises à des immissions sonores nocturnes supérieures aux VLI le long de la zone tampon Olten – Iselle Di Trasquera (cf. Figure 66).

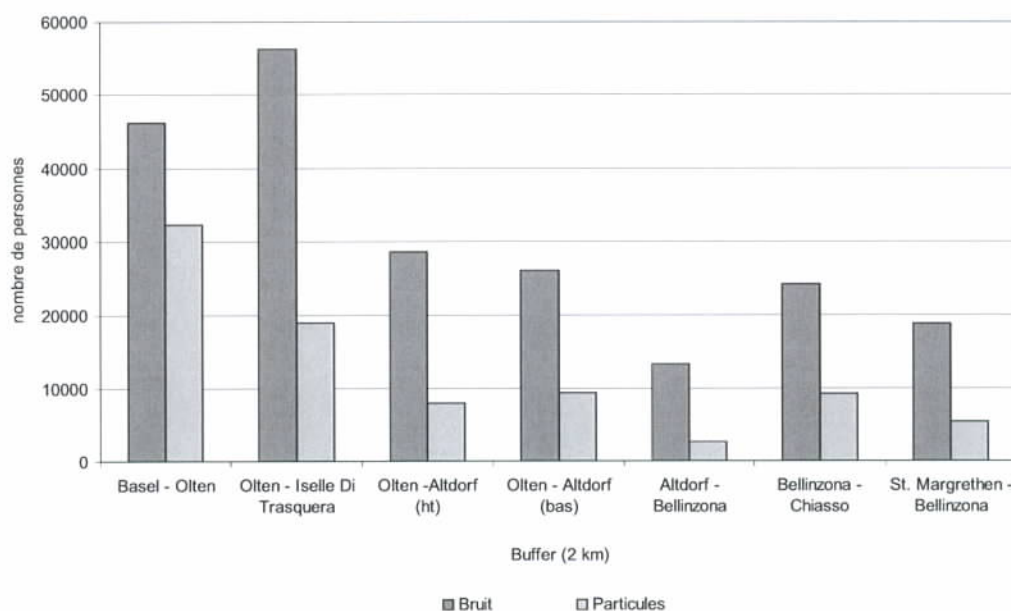


Figure 66 : Nombre de personnes soumises à des immissions supérieures aux VLI (nuit / trafic total / « scénario de base »)

Le trafic transalpin de marchandises a principalement un impact le long des zones tampons Altdorf – Bellinzona, Olten – Altdorf (bas) et Bellinzona – Chiasso en ce qui concerne le dépassement des VLI relatives au bruit et/ou aux immissions de particules (cf. Figure 67). Les

zones tampons Bâle – Olten et St. Margrethen sont également concernées mais dans une moindre mesure.

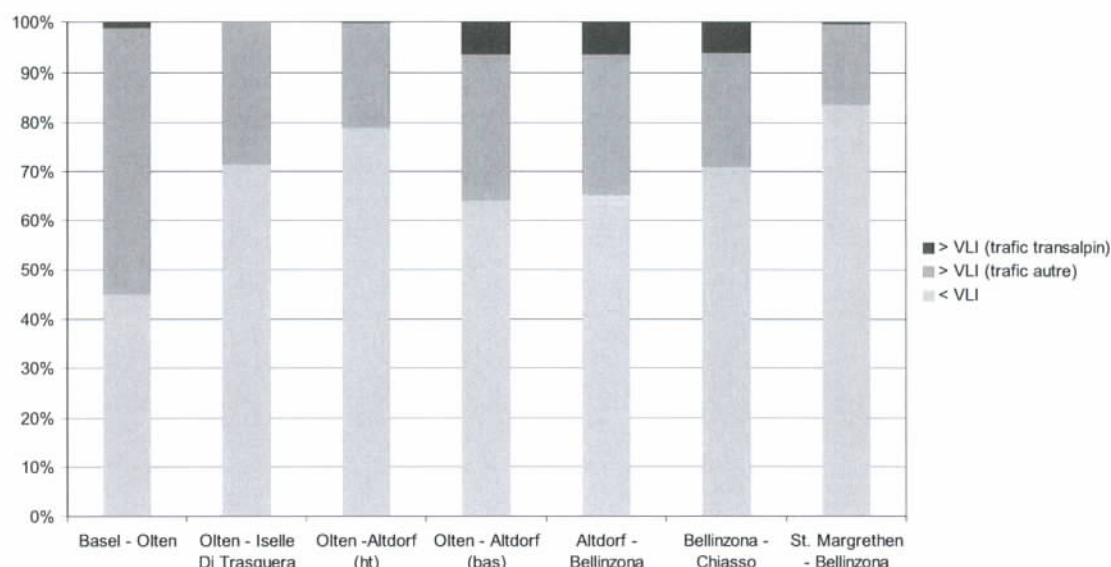


Figure 67 : Proportion de personnes soumises à des immissions sonores et/ou de particules diurnes inférieures ou supérieures aux VLI (« scénario de base »)

Le trafic transalpin de marchandises a un impact relativement important le long de la zone tampon Altdorf – Bellinzona où environ 0,13% des personnes sont soumises à des immissions sonores nocturnes supérieures aux VLI compte tenu du trafic transalpin de marchandises et où 7% des personnes sont soumises à des immissions de particules diurnes supérieures aux VLI également compte tenu du trafic transalpin de marchandises.

Toutefois, au sein de cette zone tampon, seul 67 personnes sont soumises à des immissions sonores trop importantes et 4079 en ce qui concerne les particules. Or, le long d'autres zones tampons telles que les zones tampons Olten – Iselle di Trasquera et Olten – Altdorf (bas), davantage de personnes sont concernées respectivement par le bruit nocturne (352 personnes) et par les particules diurnes (14886 personnes).

8.1.2.3.9. « Scénario1 »

Le « scénario 1 » permet de diminuer les immissions atmosphériques le long du corridor du Gothard et, par conséquent, le nombre de personnes soumises à des immissions de particules supérieures aux VLI.

18909 personnes ne seraient plus concernées par des immissions atmosphériques supérieures aux VLI dans le cas de ce scénario. La majorité de ces personnes se trouve au sein des zones tampons Olten – Altdorf et Bellinzona – Chiasso (cf. Figure 68).

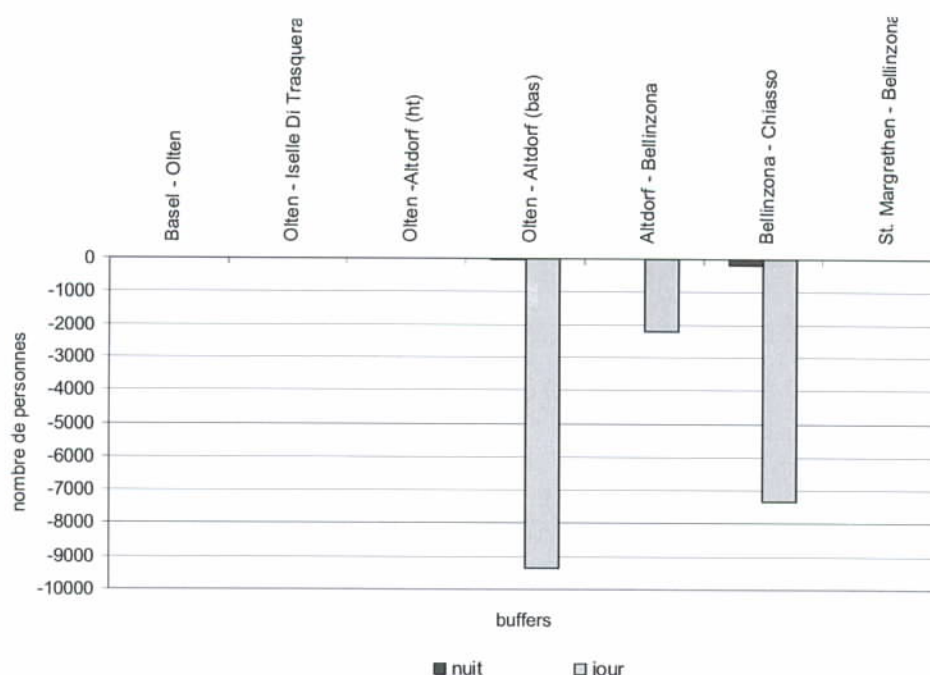


Figure 68 : Différences entre le « scénario de base » et le « scénario 1 » (particules)

8.1.2.4. Par zones homogènes

Dans le cadre de cette recherche, quatre zones homogènes sont définies et comprennent respectivement environ 1%, 4%, 17% et 78% de la population suisse (cf. Figure 69).

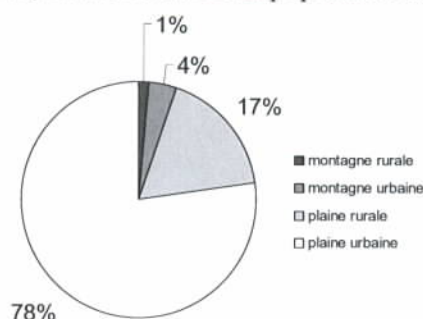


Figure 69 : Répartition de la population dans les zones homogènes

8.1.2.4.10. Scénario de base

Le nombre de personnes soumises à des immissions supérieures aux VLI se répartit dans les différentes zones homogènes de manière relativement similaire à la répartition de la population dans ces différentes zones.

La considération de la proportion de personnes soumises à des immissions diurnes supérieures aux VLI montre des résultats plus homogènes entre les zones de plaine et la zone de montagne urbaine (cf. Figure 70). La zone de montagne rurale présente un pourcentage moins important mais est toutefois significatif principalement en ce qui concerne les immissions sonores.

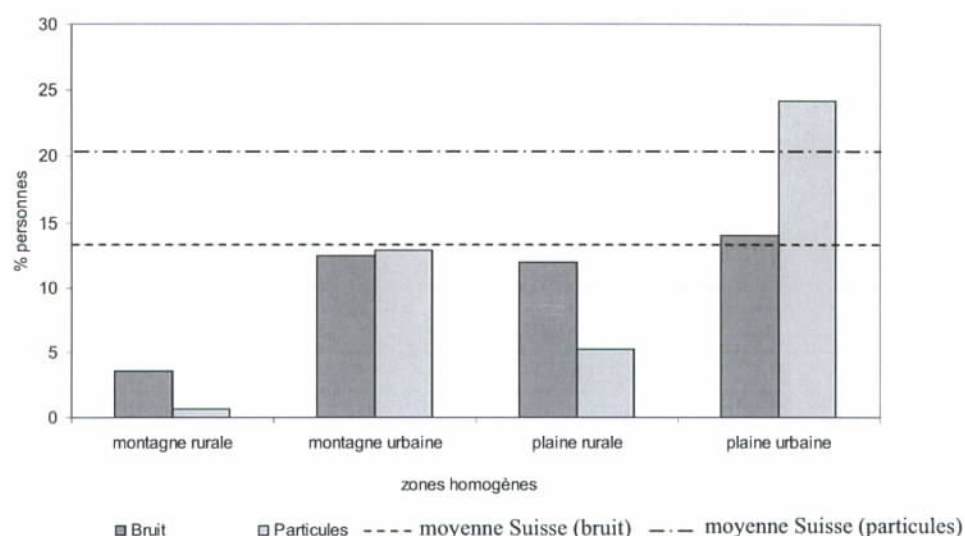


Figure 70 : Proportion de personnes soumises à des immissions supérieures aux VLI (jour / trafic total / « scénario de base »)

La nuit, les personnes, essentiellement concernées par des immissions sonores supérieures aux VLI, sont également concernées par des immissions de particules supérieures aux VLI et cela principalement en zones urbaines (cf. Figure 71).

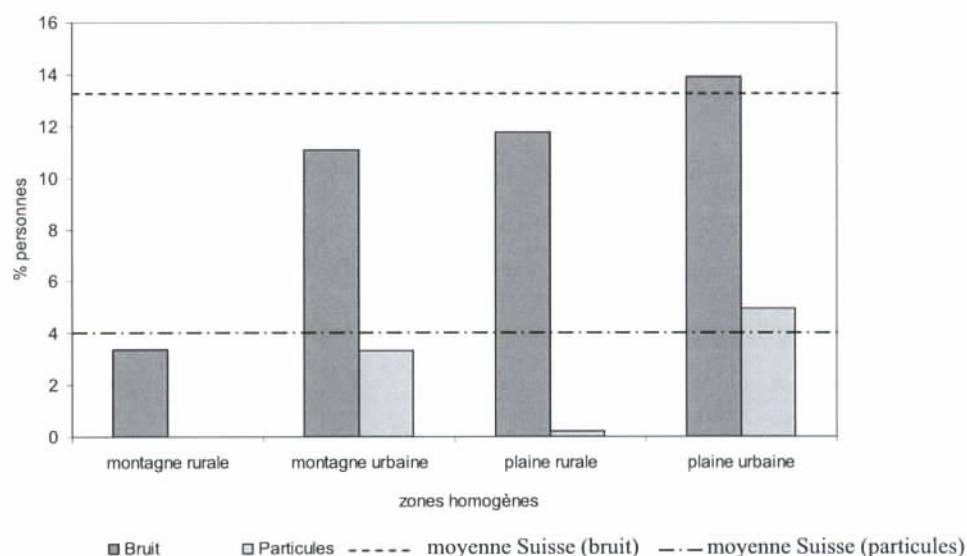


Figure 71 : Proportion de personnes soumises à des immissions supérieures aux VLI (nuit / trafic total / « scénario de base »)

La Figure 72 montre que toutes les zones homogènes sont vulnérables aux immissions sonores et/ou de particules. Toutefois, les zones de montagne urbaine et de plaine (rurale et urbaine), dont plus de 10% de la population comprise dans ces zones est concernée par des immissions sonores et/ou de particules supérieures aux VLI, sont bien plus vulnérables que la zone de montagne rurale.

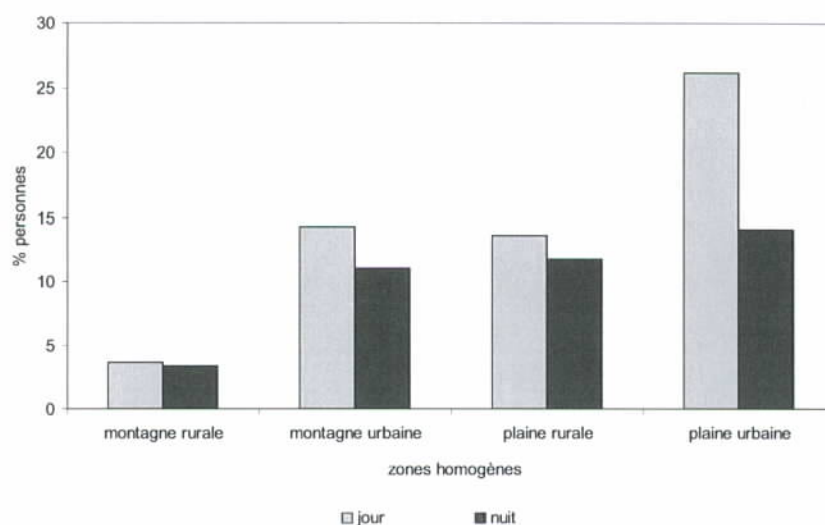


Figure 72 : Proportion de personnes soumises à des immissions sonores et/ou de particules supérieures aux VLI (trafic total / « scénario de base »)

Le trafic transalpin de marchandises a une influence sur le nombre de personnes concernées par des immissions de particules diurnes et sonores nocturnes supérieures aux VLI. En ce qui concerne les immissions sonores, l'effet du trafic transalpin est principalement perceptible en zones de plaine rurale et en zones de montagne urbaine où les dépassements des VLI compte tenu du trafic transalpin de marchandises concernent respectivement 0,13 % (1592 personnes) et 0,1 % (285 personnes) des personnes habitant dans ces zones (cf. Figure 73). Ces immissions ont un impact moins important dans les zones de plaine urbaine et encore plus faible dans les zones de montagne rurale.

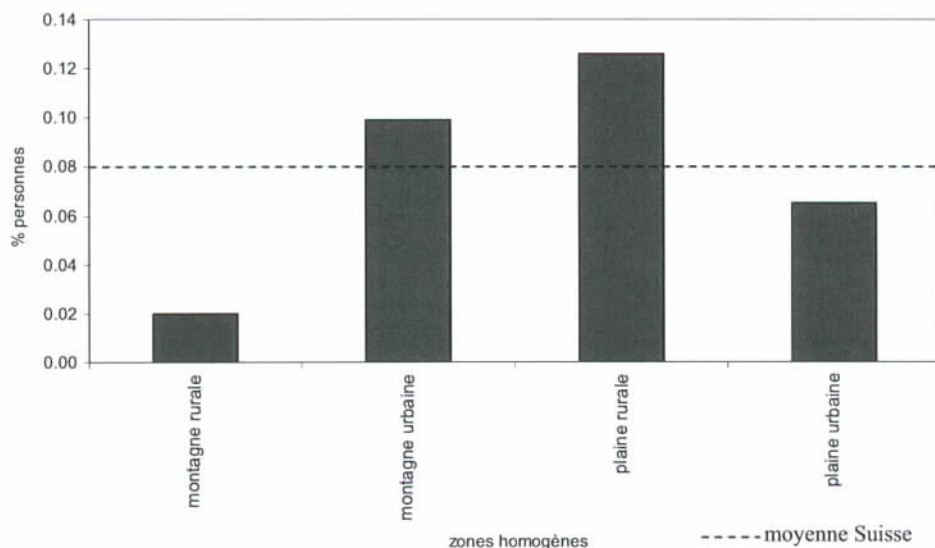


Figure 73 : Influence du trafic transalpin sur les immissions sonores (nuit / « scénario de base »)

La répartition de la proportion du nombre de personnes soumises à des immissions de particules diurnes supérieures aux VLI est bien différente. En effet, cette proportion est largement dominante en plaine et surtout en plaine urbaine (cf. Figure 74).

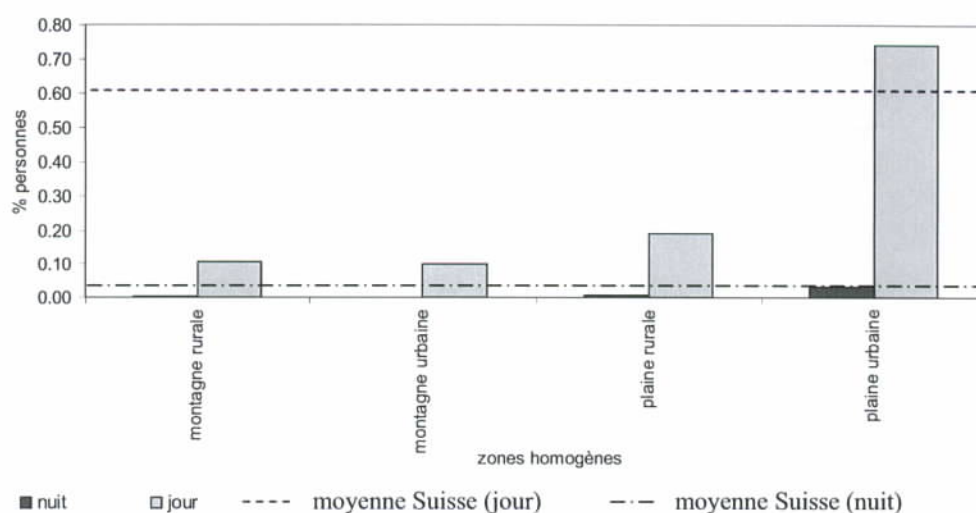


Figure 74 : Influence du trafic transalpin sur les immissions de particules (« scénario de base »)

8.1.2.4.11. « Scénario 1 »

Le « scénario 1 » permettant de diminuer les immissions de particules, a essentiellement un effet en plaine urbaine, et dans une moindre mesure en plaine rurale, en montagne urbaine et en montagne rurale (cf. Figure 75). Ces proportions se répartissent de manière similaire à la population dans ces zones.

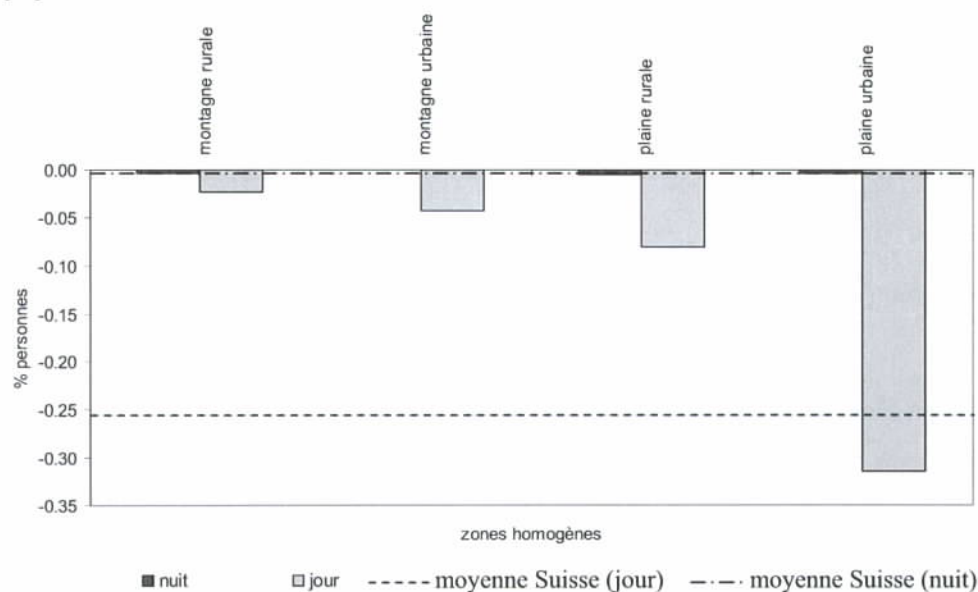


Figure 75 : Influence du « scénario 1 » sur le pourcentage de personnes soumises à des immissions de particules supérieures aux VLI

8.1.3. Les zones critiques

Les zones critiques peuvent être identifiées au moyen des cartes représentant en noir les pixels²⁸⁷ au sein desquels des habitants sont soumis à des immissions sonores et/ou de particules supérieures aux VLI (cf. Figure 76).

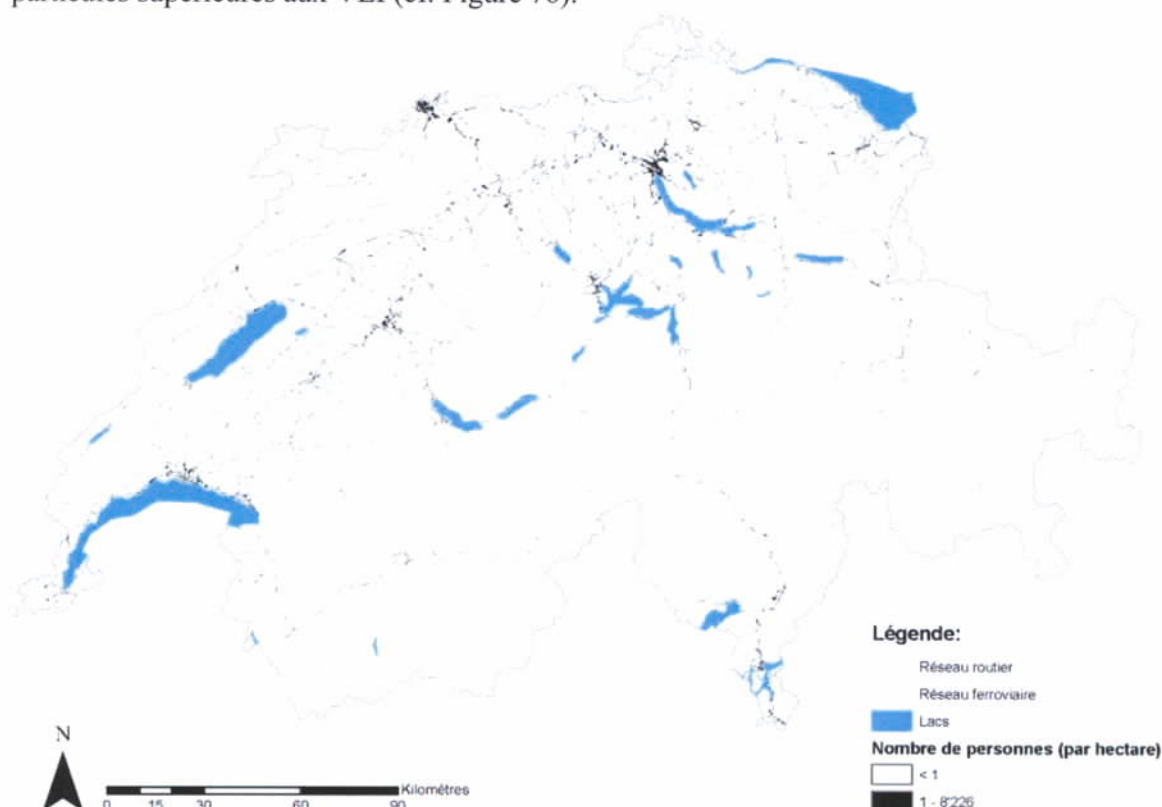


Figure 76 : Localisation des personnes soumises à des immissions sonores et/ou de particules supérieures aux VLI (trafic total / « scénario de base » / cf. Annexe 28)

Les personnes soumises à des immissions sonores et/ou de particules supérieures aux VLI se répartissent sur l'ensemble du territoire et plus particulièrement à proximité des grandes villes du plateau, le long du réseau routier et ferroviaire reliant ces villes ainsi que le long du corridor du Gothard.

La carte suivante montre que la concentration des personnes soumises à des immissions trop importantes à proximité des grandes villes du plateau a un lien avec les immissions de particules (cf. Figure 77).

²⁸⁷ Note de bas de page ⁶²

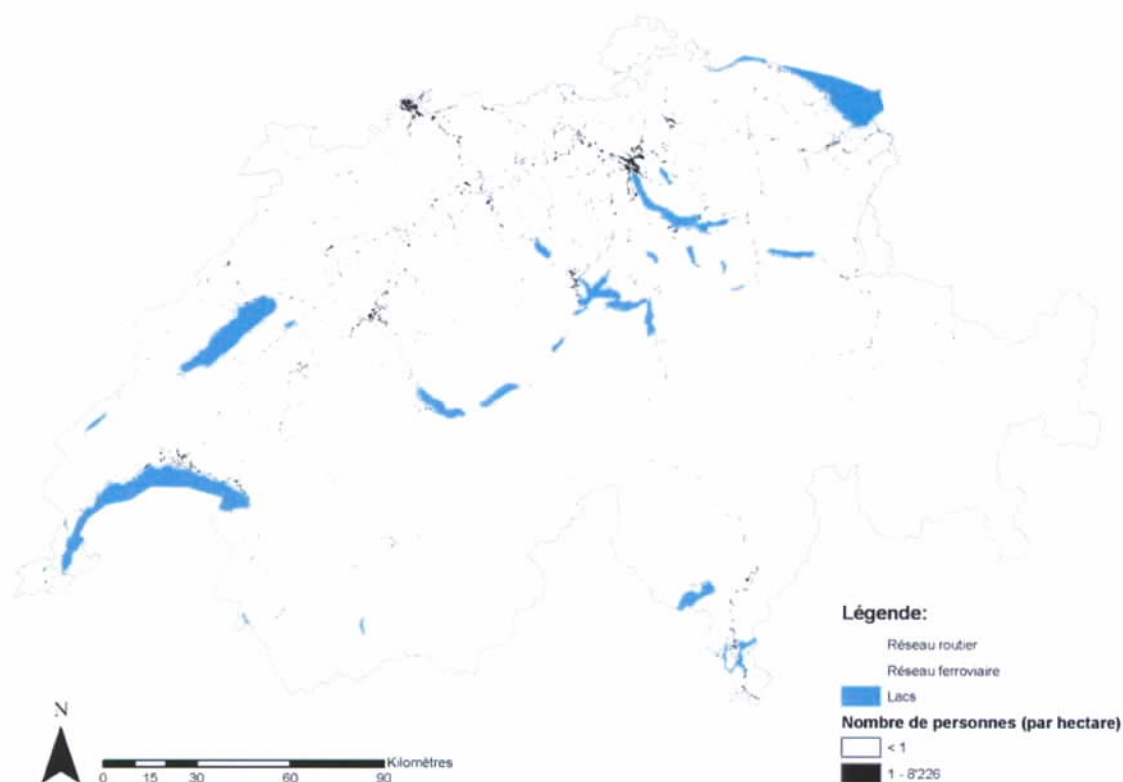


Figure 77 : Localisation des personnes soumises à des immissions diurnes de particules supérieures aux VLI (trafic total / « scénario de base » / cf. Annexe 29)

Toutefois, les immissions sonores participent à la vulnérabilité de ces zones ainsi que le long de l'ensemble des réseaux routier et ferroviaire (cf. Figure 78).

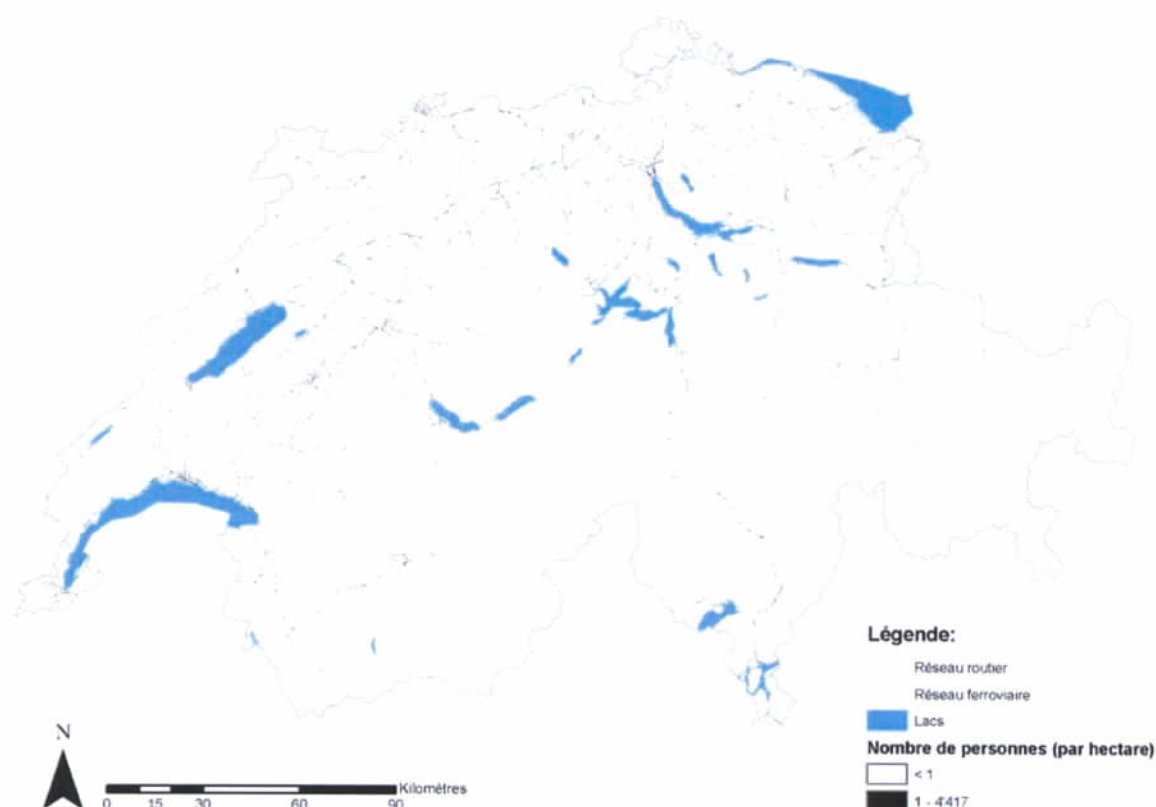


Figure 78 : Localisation des personnes soumises à des immissions sonores nocturnes supérieures aux VLI (trafic total / « scénario de base » / cf. Annexe 30)

Le trafic transalpin, qui a principalement une influence sur le nombre de personnes soumises à des immissions de particules supérieures aux VLI, influence plus particulièrement la situation des personnes situées le long des axes Bâle – Chiasso et Schaffhouse – Chiasso (cf. Annexe 31).

8.1.4. Conclusions

Les résultats présentés dans ce chapitre montrent qu'environ 23% de la population suisse est soumise à des immissions sonores et/ou de particules diurnes, provenant des trafics routier et ferroviaire, supérieures aux VLI.

Un nombre plus important de personnes est plus vulnérable aux immissions diurnes de particules (20% de la population suisse) par rapport aux immissions sonores nocturnes (13% de la population suisse). Ainsi, le trafic routier et ferroviaire semble avoir un impact plus important sur la santé que sur le bien-être. Par ailleurs, les résultats obtenus pour les immissions sonores sont sur-estimés étant donné que les parois antibruit n'ont pas été prises en compte dans cette recherche (cf. 6.6.4.1).

Les cantons de Bâle-ville et d'Uri, dont respectivement 71% et 33% de la population du canton est soumise à des immissions sonores et/ou de particules supérieures aux VLI, sont les cantons les plus vulnérables. Les environs des grandes villes du plateau (Zürich, Genève, Bern, Lausanne, etc.) de même que les zones alpines situées le long du corridor du Gothard sont considérés comme des zones critiques.

L'impact du trafic sur le long terme (équité intergénérationnelle) est principalement déterminé par le trafic de voyageurs ou, plus particulièrement, par les voitures de tourisme. Ces dernières sont en effet à l'origine de la majorité des émissions de CO₂ en Suisse (72% des émissions totales). Le trafic de marchandises est, quant à lui, responsable d'environ 20% de ces émissions (cf. Tableau 38).

	CO ₂		Particules	
	%	tonnes	%	tonnes
Trafic transalpin de marchandises	2,5	192645	7	68
Trafic « autre » (PLM)	17,5	1407594	52	512
Trafic « autre » (VT ; VL ; MC ; CAR)	80	6191531	41	402
Trafic total	100	7791770	100	982
« Scénario 1 » - diminution	1	89799	3,2	32

Tableau 38 : Emissions de CO₂ et de particules

Le trafic de marchandises, et par conséquent le trafic transalpin de marchandises, a par contre un impact significatif sur le court terme (équité intragénérationnelle) puisqu'il est le principal émetteur de particules et de dioxydes d'azote (cf. Tableau 38).

Ainsi, un transfert modal et/ou spatial du trafic transalpin de marchandises a normalement un impact plus important sur le court terme (équité intragénérationnelle) que sur le long terme (équité intergénérationnelle).

Toutefois, compte tenu des résultats obtenus dans cette recherche, il s'avère que dans le cas du scénario des 650000 courses à travers les Alpes (prévu initialement pour 2009, cet objectif devrait être atteint en 2017), encore plus de 20% de la population suisse devrait être soumise à des immissions de particules supérieures aux VLI.

Il s'avère donc nécessaire d'agir sur le trafic transalpin de marchandises mais également sur le trafic de marchandises ne transitant pas à travers les Alpes afin d'obtenir un impact significatif sur la vulnérabilité des personnes.

Finalement, les résultats obtenus à l'échelle de la Suisse doivent être interprétés avec prudence. Une analyse plus profonde est requise afin d'utiliser les résultats à des fins décisionnelles et d'appliquer cette méthode au niveau du « segment alpin ».

8.2. Précision des résultats

La précision des résultats obtenus dépend de plusieurs paramètres à savoir, la qualité des données de base relatives aux trafics routiers et ferroviaires, l'exactitude de l'association de ces données aux réseaux routier et ferroviaire, les modèles utilisés pour calculer les émissions sonores et atmosphériques, la qualité de la modélisation de la dispersion des émissions et enfin la résolution des critères de vulnérabilité.

Alors que l'influence de certains paramètres peut facilement être appréhendée (ex. : modèles pour le calcul des émissions et immissions), l'effet induit par d'autres paramètres peut être difficile à cerner (ex. : exactitude de l'association de ces données au réseau).

8.2.1. Les données

8.2.1.1. Le trafic transalpin

Les estimations concernant le trafic transalpin de marchandises sont relativement fiables. Il faut toutefois être conscient que ces données sont issues d'extrapolations et de calculs statistiques. Dès lors, une certaine imprécision peut être suggérée (INITIATIVE DES ALPES 2006).

Les données, obtenues dans le cadre de cette recherche pour représenter le trafic routier et ferroviaire transalpin de marchandises, sont simplifiées.

Ces données présentent quelques erreurs qu'il a été nécessaire de corriger. Identifiées notamment à proximité de Berne en ce qui concerne le trafic ferroviaire, ces erreurs proviennent soit d'un mauvais géoréférencement des nœuds représentant les origines et les destinations, soit d'une erreur quant à l'origine et à la destination d'un certain flux de trafic.

Une certaine imprécision au sujet des données du trafic transalpin de marchandises peut également provenir des hypothèses admises pour estimer, à partir des tonnes nettes, le nombre de trains circulant sur les différents tronçons ferroviaires (cf. 6.2.1).

8.2.1.2. Le trafic total

La qualité des données relatives au trafic total est très variable en fonction des modes de transport.

En effet, les données routières, provenant du comptage suisse de la circulation routière 2000 (OFROU), sont de très bonne qualité alors que les données ferroviaires, qui n'ont pas pu être obtenues auprès des CFF et autres opérateurs ferroviaires, ont été déduites d'estimations faites à partir des horaires graphiques et sont, par conséquent, moins précises. Les hypothèses admises afin de collecter ces données ferroviaires à partir des horaires graphiques des CFF peuvent amener quelques imprécisions.

8.2.2. La modélisation du trafic

Les données relatives aux trafics routier et ferroviaire total et transalpin de marchandises, une fois obtenues, sont associées à leur réseau respectif. Cette association, réalisée à l'aide de scripts²⁸⁸, est délicate.

La qualité de cette association dépend de la précision du géoréférencement des points, contenant les données de trafic (postes de comptage) ou représentant les origines et destinations d'un flux de trafic (trafic transalpin), et du réseau. Elle dépend également de la relation entre ces deux jeux de données étant donné qu'il est nécessaire de lier chaque point à un tronçon du réseau. De plus, la recherche du chemin le plus court, effectué par les scripts²⁸⁹ (cf. 6.4.1 et 6.4.2.2), est complexe.

Cette association est certainement la variable explicative de la qualité des résultats obtenus. En effet, une erreur à ce niveau peut avoir des conséquences lors de la dispersion des émissions et, par conséquent, lors du calcul des critères de vulnérabilité.

²⁸⁸ Note de bas de page ¹⁷⁵

²⁸⁹ Note de bas de page ¹⁷⁵

8.2.3. Le calcul des émissions

La précision des résultats obtenus dépend également des modèles utilisés pour calculer les émissions et immissions sonores et atmosphériques.

Le calcul des émissions est relativement simple compte tenu des moyens à disposition (MICET).

Toutefois, il ne tient pas compte de certains paramètres. Ainsi, la déclivité des infrastructures, prise en compte pour le calcul des émissions atmosphériques, n'est pas considérée pour le calcul des émissions sonores. De plus, pour les émissions atmosphériques, la déclivité est calculée en fonction de l'altitude à laquelle se trouvent l'origine et la destination de chaque tronçon. De ce fait, plus le tronçon est d'une longueur importante, plus la valeur de la déclivité est susceptible de présenter une certaine variabilité.

De plus, l'utilisation des règles de correspondance avec des grilles d'émission standardisées peut conduire à des sous-estimations compte tenu de la limitation des déclivités qui sont le plus souvent bornées à + 6%.

8.2.4. La modélisation de la dispersion des émissions

Les modèles de dispersion des émissions ont également un impact sur la précision et la qualité des résultats. Les modèles utilisés, tenant compte de deux dimensions uniquement (ex. : modèle gaussien), présentent certaines limites du fait que cette méthode est appliquée dans des zones présentant un relief varié.

De plus, une certaine prudence est de mise lors de l'interprétation des résultats étant donné que les parois antibruit n'ont pas pu être prises en compte dans le modèle de dispersion des émissions sonores (cf. 6.6.4.1).

La qualité des données météorologiques, de même que la méthode utilisée afin de modéliser la dispersion des émissions, sont également susceptibles d'influencer la qualité des résultats. La qualité de la modélisation de la dispersion des émissions dépend, en grande partie, de la résolution choisie. Dans le cadre de cette recherche, la résolution est un paramètre primordial qui est parfois difficile à choisir. En effet, le choix de la résolution dépend d'une part de l'échelle de travail mais également de la précision recherchée. Cette méthodologie étant appliquée à l'échelle de la Suisse, les résultats obtenus sont moins précis que ceux obtenus dans des études menées à des échelles plus locales.

8.2.5. La résolution des critères de vulnérabilité

Dans le cadre de cette recherche, les immissions sonores et de particules sont calculées pour les lieux où se trouve le récepteur considéré, à savoir la population. De ce fait, les résultats obtenus dépendent de la qualité des valeurs d'immission obtenues et aussi de la qualité et de la résolution des données représentant les récepteurs (cf. 5.2.4.1).

8.2.6. Conclusion

La précision et la qualité des résultats obtenus dépendent principalement de l'association des données du trafic aux réseaux et de la précision des modèles de dispersion des émissions.

Il est recommandé d'interpréter les résultats avec précaution compte tenu des remarques faites précédemment. Les valeurs moyennes semblent fiables contrairement aux valeurs extrêmes.

L'utilisation des valeurs limites d'immission dans le calcul des critères de vulnérabilité est intéressante puisque les valeurs extrêmes ne sont ainsi pas déterminantes.

Une amélioration de la méthodologie, qui rentrerait dans un processus demandant plus de temps et de ressources, apparaît toutefois indispensable afin de pouvoir valider et utiliser les résultats obtenus.

8.3. Améliorations possibles

Une meilleure qualité et précision des résultats peut être obtenue par une amélioration de la qualité des données de trafic (principalement celles relatives au trafic ferroviaire total), de la modélisation du trafic (association des données du trafic aux réseaux), de la modélisation de la dispersion des émissions, de la modélisation des immissions ou encore de l'intégration de paramètres supplémentaires (ex. : capacité des lignes ferroviaires).

8.3.1. Les données

La qualité des données représentant le trafic ferroviaire total pourrait être facilement améliorée par l'utilisation des données appartenant aux CFF et aux autres compagnies de chemin de fer.

Les données relatives au trafic routier total, bien qu'elles soient précises, présentent toutefois une lacune dans le cadre de cette méthodologie. En effet, ces données qui contiennent le trafic journalier moyen ne fournissent aucune indication relative au sens de la circulation. Or ce dernier est important dans le cadre du calcul des émissions.

L'application de cette méthodologie aux données des années 1999/2000 pourrait être complétée par son application à des données plus récentes, à savoir des données des années 2004/2005. Cela permettrait ainsi d'obtenir des résultats correspondant à une situation plus actuelle mais également de suivre l'évolution des différents critères de vulnérabilité dans le temps.

8.3.2. La modélisation du trafic

L'association des données relatives aux trafics (total ; transalpin ; routier ; ferroviaire) aux réseaux ferroviaire et routier est à l'origine du risque d'imprécision le plus important en ce qui concerne les résultats.

Une plus grande précision de cette association, au moyen de l'amélioration des scripts conçus à cet effet ou le recours à l'utilisation d'un autre logiciel (ex. : Transcad ; Omnitrans²⁹⁰), devrait permettre d'obtenir des résultats encore plus précis.

Toutefois, le recours à un autre logiciel apparaît moins intéressant dans le cadre de cette méthodologie étant donné la perspective d'un outil intégré comprenant une interface unique pour l'utilisateur.

8.3.3. La modélisation de la dispersion des émissions

La qualité et la précision des résultats pourraient être modifiées par l'utilisation de modèles de dispersion tenant compte d'autres paramètres. Ainsi, il serait intéressant d'intégrer un modèle de bruit considérant les effets liés au relief et à la présence de bâtiments ou encore de parois antibruit.

²⁹⁰ <http://www.caliper.com/tcovu.htm> (Transcad); <http://www.omnitrans-international.com/> (Omnitrans)

Concernant la dispersion des polluants atmosphériques, l'utilisation d'un modèle lagrangien à trois dimensions permettrait également d'intégrer les effets liés à la topographie.

De tels modèles existent et sont principalement appliqués à l'échelle locale. Leur intégration au sein de cette méthodologie nécessiterait une étude quant à leur utilisation à l'échelle nationale.

8.3.4. La modélisation des immissions

Les immissions, obtenues sous forme de données ponctuelles, sont associées aux données représentant les récepteurs (« raster »²⁹¹; données surfaciques). Les récepteurs n'étant pas présents sur l'ensemble du territoire, les valeurs d'immission sont disponibles uniquement où se trouvent des récepteurs.

Afin d'améliorer la qualité de la modélisation des immissions, il serait préférable d'associer les valeurs d'immissions à une grille « raster », par exemple hectométrique, recouvrant l'ensemble du territoire afin de simuler les transferts de pollution atmosphérique entre les différentes cellules « raster » (outil « FocalMean » – cf. Annexe 32). Le travail nécessaire à cette simulation a été testé mais n'a pas pu être réalisé dans le cadre de cette recherche étant donné les importantes ressources informatiques nécessaires.

De plus, l'utilisation d'un modèle de dispersion des polluants en topographie complexe (modèle de vent et de dispersion tridimensionnel) pourrait compléter le dispositif.

8.3.5. L'intégration d'autres paramètres

Afin d'obtenir des résultats plus pointus, il apparaît intéressant d'intégrer d'autres paramètres dans la méthodologie développée.

Ainsi, il est envisageable d'ajouter un attribut relatif à la capacité des lignes ferroviaires, et ceci sur l'ensemble des tronçons représentant le réseau. Un attribut similaire pourrait être ajouté au réseau routier. Il permettrait, par exemple, de fixer une capacité en fonction des objectifs politiques (650000 passages de poids lourds marchandises à travers les Alpes durant l'année) ou encore en fonction des limites fixées par la bourse de transit actuellement en pleine négociation.

Ayant également une influence sur la capacité du réseau ferroviaire, les Nouvelles Liaisons Ferroviaires Alpines (NLFA) pourraient aussi être modélisées afin de simuler des scénarios tenant compte de ces nouvelles infrastructures.

D'autres paramètres relatifs aux récepteurs pourraient également être considérés. Ainsi, par exemple, il est envisageable de prendre en compte différents critères relatifs à la population (ex. : âge) ou encore la durée d'exposition au risque pouvant avoir une influence sur leur vulnérabilité au bruit ou à la pollution de l'air.

L'évaluation de la vulnérabilité des écosystèmes et de la végétation²⁹² permettrait d'approfondir la prise en compte de l'incidence sur les zones de montagne et, par conséquent, de mieux évaluer l'effet du trafic.

²⁹¹ Note de bas de page ¹⁷¹ et 4.2.3

²⁹² Dans les zones de montagne, on est en présence de types de végétation dont les seuils de dépassement de charges-limites sont relativement vite atteints.

8.3.6. Conclusion

Afin de tester la méthodologie à l'échelle de la Suisse, des modèles simples ont été utilisés pour des raisons d'échelle, de temps et de capacités informatiques.

Compte tenu de cette simplification de la réalité et d'un risque d'erreur s'accumulant au cours de chaque étape de modélisation, les résultats obtenus sont toutefois intéressants puisqu'ils montrent les capacités et l'intérêt de la méthodologie.

Un certain nombre d'améliorations (ex. : intégration de modèles et de scripts plus précis) pourrait augmenter l'intérêt des résultats obtenus.

De plus, du fait d'un nombre important d'hypothèses émises dans le cadre de cette étude il s'avère nécessaire de procéder à davantage d'analyses de sensibilité.

8.4. Résultats envisageables pour le « segment alpin »

Des résultats similaires à ceux présentés dans ce chapitre pourraient être obtenus à l'échelle du « segment alpin ». Toutefois, les données relatives au récepteur « population » ne pourraient être obtenues qu'à l'échelle de la commune et non à l'échelle de l'hectare. Compte tenu de ce fait, une grille « raster » recouvrant l'ensemble du territoire étudié s'avèrerait intéressante (cf. 8.3.4) afin que les valeurs d'immissions soient associées non sur l'ensemble du territoire communal mais aux différentes cellules comprises sur ce territoire.

L'obtention de ces résultats au niveau du « segment alpin » permettrait de comparer la situation dans les différents pays et le long des différents corridors alpins. De plus, l'impact du trafic transalpin et d'un transfert modal et/ou spatial concernant un ou plusieurs corridors alpins pourraient être évalués.

La méthodologie, qui peut être appliquée à des données de différentes années, permettrait aussi de suivre l'évolution des impacts induits par le trafic transalpin de marchandises au niveau du « segment alpin » et, par conséquent, d'évaluer la vulnérabilité de la population ou d'autres récepteurs à court terme (critères « intra ») comme à long terme (critères « inter »).

Chapitre 9. Conclusions et perspectives

9.1. Vers une répartition modale et spatiale plus durable

Cette recherche montre que pour rendre le système de transport plus durable, il est nécessaire d'utiliser des modes de transport alternatifs à la route et notamment le transport ferroviaire qui fonctionne en Suisse à l'énergie hydraulique.

L'application de la méthodologie à l'échelle de la Suisse révèle que le trafic transalpin de marchandises a un impact significatif sur les régions traversées. Ce trafic peut notamment être à l'origine de plus de 50% de l'émission de particules observées sur certains tronçons (Gothard).

Le transfert modal d'un volume de trafic transalpin de marchandises de la route au rail permet de réduire les immissions et, par conséquent, de protéger davantage les récepteurs aux nuisances induites par le trafic. Le scénario de transfert modal et spatial testé en Suisse permet notamment de réduire de 40% les émissions atmosphériques induites par le trafic transalpin de marchandises.

Afin de favoriser le transfert modal du trafic de marchandises de la route au rail, un ensemble d'outils sont développés au niveau suisse. Ainsi, il est possible de citer notamment la politique de taxation (RPLP ; subventions) et la construction des NLFA. La mise en œuvre de ces outils doit impérativement être soutenue et encouragée par les politiques qui sont les seuls à posséder les leviers d'action.

Des mesures cohérentes doivent également être prises dans l'ensemble de l'Europe afin de favoriser un transfert modal du trafic de marchandises. L'Europe devrait notamment agir sur l'aménagement du territoire et encourager les entreprises à se relier au réseau ferroviaire. Elle devrait également favoriser une homogénéisation des capacités ferroviaires. Ainsi, le réseau italien devrait notamment être adapté aux besoins des NLFA.

9.2. Vers un outil d'aide à la décision pour le « segment alpin »

Les Alpes, particulièrement sensibles du fait de leurs caractéristiques topographiques et météorologiques, sont devenues vulnérables face à la croissance du trafic routier et ferroviaire dans l'ensemble de l'Europe. Cette vulnérabilité est d'autant plus importante du fait que la croissance concerne principalement le transport routier (qui pose des problèmes en termes de pollution atmosphérique et sonore, de congestion, et d'insécurité). De plus, le trafic, et par conséquent les nuisances, se concentrent sur un nombre restreint d'itinéraires.

Face à une situation devenue préoccupante naît le besoin de mesurer cette vulnérabilité. La mesure de la vulnérabilité à long terme, qui fait référence à la notion d'équité intergénérationnelle, se complète par la mesure de la vulnérabilité à court terme qui fait, elle, référence à la notion d'équité intragénérationnelle.

La vulnérabilité étant fortement influencée par la répartition modale et spatiale du trafic, la problématique du trafic transalpin de marchandises dépasse l'échelle nationale. En effet, des transferts modaux et spatiaux du trafic transalpin de marchandises sont susceptibles d'avoir lieu au sein du « segment alpin » (Suisse ; France ; Autriche ; Italie).

Applicable à l'échelle du « segment alpin », la méthodologie développée dans le cadre de cette thèse est testée à l'échelle de la Suisse afin d'évaluer sa faisabilité et d'identifier les intérêts et les limites de cette méthodologie.

9.2.1. Intérêts de la méthodologie

Les résultats obtenus dans le cadre de cette thèse révèlent l'intérêt de la méthodologie à l'échelle nationale. Elle permet, par exemple, de calculer les immissions sonores totales induites par les trafics routier et ferroviaire - ces immissions n'ayant jamais été évaluées au niveau national.

L'application de la méthodologie sur l'ensemble du « segment alpin » permettrait de procéder à des comparaisons au moyen de critères de vulnérabilité présentant les mêmes artefacts méthodologiques. Elle permettrait de comparer la situation observée dans les différents pays et régions traversées, le long des différents corridors alpins et d'évaluer l'effet de transferts modaux et/ou spatiaux du trafic transalpin de marchandises.

L'utilisation de données d'années différentes, permettrait de suivre l'évolution de la situation dans le temps.

La méthode générique, appliquée au trafic routier et ferroviaire transalpin de marchandises, peut être utilisée pour d'autres types de trafic et modes de transport. De la même manière, il est envisageable de considérer d'autres nuisances que le bruit et la pollution de l'air – par exemple l'insécurité ou la congestion – et d'autres récepteurs que la population – par exemple la faune, la végétation, les eaux, les sols, etc.

Cette méthodologie présente l'avantage d'être transparente et de pouvoir être facilement modifiée et complétée. Dans la perspective de développer un outil d'aide à la décision, les modèles et les scripts utilisés peuvent être réunis dans une interface graphique unique.

9.2.2. Limites de la méthodologie

La principale limite de cette méthodologie n'est pas directement liée à la méthodologie elle-même mais à l'utilisation de données issues de sources variées et ne présentant pas de lien entre elles.

La normalisation et standardisation des données géographiques, actuellement en développement en Europe, devraient faciliter l'utilisation de données issues de sources variées au niveau national et européen. Dans ce cadre, l'initiative européenne INSPIRE (INfrastructure for SPatial InfoRmation in Europe²⁹³) incite à la création d'une infrastructure européenne pour l'information spatiale.

Comme pour les données géographiques, une normalisation des données de trafic à l'échelle européenne s'avère nécessaire. Les données relatives aux trafics ferroviaire et routier transalpin de marchandises en sont un bon exemple.

L'application de la méthodologie au niveau national révèle une limite due au volume important de données qu'il est nécessaire de manipuler. Les capacités informatiques requises dans la perspective de développer un outil à l'échelle du « segment alpin » sont importantes à prendre en compte.

La gestion et l'administration d'un outil applicable à l'échelle du « segment alpin » est également susceptible de représenter une limite non négligeable: « *The ideal methodology would be to provide a GIS mapping of the impacts and have a charging system that reflected*

²⁹³ <http://www.ec-gis.org/inspire/home.html>

the distribution pattern in space and time. This would, however, almost certainly be too complex to establish and administer » (VASSALLO 2005).

Cependant, les standards ISO²⁹⁴/OGC²⁹⁵ d'échanges d'informations peuvent être une piste intéressante pour résoudre en partie cette problématique.

9.3. Intérêt d'une recherche interdisciplinaire

Comme dans d'autres disciplines, les recherches sur les transports tendent souvent à se focaliser sur un aspect de son propre champ de recherche. Ainsi, à partir de l'existence de ces travaux très pointus, il est possible et nécessaire d'envisager une approche plus globale. Cette recherche interdisciplinaire s'inscrit pleinement dans cette perspective.

Cette thèse, qui participe à la recherche d'une répartition modale et spatiale plus durable du trafic transalpin de marchandises, vise à répondre à une question centrale de nos sociétés, en intégrant les visions parfois antagonistes des différents acteurs. *« Le concept de développement durable se distingue par une capacité tout à fait remarquable à poser et surtout à lier ensemble plusieurs des questions centrales auxquelles nos sociétés sont aujourd'hui confrontées (compromis entre les intérêts divergents, temps, identités spatiales). Mais cette capacité à poser les problèmes n'implique pas nécessairement celle de pouvoir leur trouver une solution. »* (THEYS 2002).

Les recherches interdisciplinaires exigent une connaissance approfondie des différents aspects du problème afin d'avoir une vision globale. Dans le cadre de cette thèse il s'est avéré nécessaire de rechercher de nombreuses informations relatives à la problématique des transports en Europe et en Suisse, à la politique des transports en matière de transfert modal, au concept de développement durable, aux différentes nuisances induites par les trafics ferroviaire et routier, aux méthodes et recherches existantes pour évaluer l'impact des transports, aux systèmes d'indicateurs existants, à l'existence et à la qualité des données géographiques. Des entretiens avec les décideurs contribuent à la recherche d'une solution intégrant leurs exigences de même que les trois dimensions du développement durable (environnement ; économie ; société).

Les recherches interdisciplinaires reposent principalement sur les résultats ou sur l'utilisation de méthodes issus de différentes disciplines. Dans le cadre de cette thèse, l'utilisation de données issues de laboratoires spécialisés dans une discipline a révélé une difficulté dans les échanges des informations et des données. Cela soulève le besoin d'une normalisation et d'une standardisation des données. La réalisation de recherches interdisciplinaires ne peut que favoriser cette uniformisation des données et ce partage d'informations entre les différentes disciplines.

Pour maîtriser l'ensemble de ces aspects, il est essentiel, dans le cadre d'une recherche interdisciplinaire, de recourir à des avis d'experts. Ces derniers permettent de vérifier la pertinence des résultats obtenus.

La collaboration est un aspect essentiel de toute recherche interdisciplinaire. Dans le cadre de cette thèse, une collaboration avec des experts et des spécialistes de différentes disciplines a permis d'orienter et d'aider à la conception de la méthodologie.

9.4. Intérêts et perspectives de l'étude

Cette thèse montre l'intérêt d'une méthodologie générique basée sur l'agrégation d'une quantité importante de données issues de sources variées et sur leur mise en relation.

²⁹⁴ <http://www.iso.org>

²⁹⁵ <http://www.opengeospatial.org>

Elle révèle que des conditions précises de configuration des différentes bases de données sont nécessaires pour cette mise en relation et que sans ces conditions permettant l'homogénéisation des données, la généralisation de ces mises en relation à l'échelle de l'ensemble de l'arc alpin ne peut pas être satisfaisante.

L'application de cette méthodologie à l'échelle de la Suisse prouve le caractère opérationnel de cette méthode innovante. Elle démontre qu'une mise en relation de données relatives aux trafics, aux nuisances, et aux récepteurs est possible voire indispensable pour analyser la nécessité d'un changement modal dans le transport transalpin des marchandises.

Cette étude montre également l'intérêt d'une approche géographique pour répondre aux objectifs du développement durable dans le domaine des transports, et plus particulièrement pour évaluer la vulnérabilité des régions traversées au trafic. Elle révèle l'importance de la dimension spatiale du développement durable qui s'avère être complémentaire à la dimension temporelle. Ces deux dimensions permettent de répondre respectivement au principe d'équité intra- et intergénérationnelle.

Les dimensions spatiale et temporelle, au même titre que les dimensions environnementale, sociale et économique, devraient être considérées dans tout projet consacré à la recherche d'un système plus durable. La prise en compte de l'ensemble de ces dimensions est parfois complexe mais apparaît indispensable pour répondre à une problématique de développement durable.

Finalement, cette recherche soulève deux principales perspectives intéressantes à savoir :

- le développement d'un outil d'aide à la décision applicable sur l'ensemble du « segment alpin » ;
- le développement d'une approche indépendante des logiciels SIG.

Alors que la première perspective souligne le besoin et la nécessité d'une standardisation des échanges de données (normes OGC), la seconde suggère d'étudier la faisabilité d'une approche indépendante des logiciels SIG.

Bibliographie

ADRIAANSE A., 1993, *Environmental policy performance indicators. A study on the development of indicators for environmental policy in The Netherlands*, La Haye, Sdu Uitgeverij Koninginnegracht, 174 p.

AKINYEMI Edward, 1998, ZUIDGEEST Mark, The use of the sustainability concept in transportation engineering: past experiences and future challenges, 8th WCTR, IHE Delft, Anvers, 59 p.

ALARY R. et al., 1994, La pollution automobiles à Paris – Influence du trafic et des conditions météorologiques, *Pollution Atmosphérique*, Janvier-Mars, pp. 55-65

ANDRÉ Pierre et al., 1999, *L'évaluation des impacts sur l'environnement : processus, acteurs et pratique*, Montréal, Presse internationale polytechnique, 416 p.

ARE, 2000a, Trafic marchandises à travers les Alpes suisses 1999, *GVF-NEWS* no 54, 2 p.

ARE, 2000b, Alpinfo 2000, *GVF-NEWS* no 55, 2 p.

ARE, 2001a, *Itinéraires à travers les Alpes*, Berne, 38 p.

ARE, 2001b, *Equitable et efficiente – La redevance sur le trafic des poids lourds liée aux prestations (RPLP) en Suisse*, Office fédéral du développement territorial, Berne, 28 p.

ARE, 2004, Perspectives d'évolution du trafic marchandises suisse à l'horizon 2030 - hypothèses et scénarios, Feuille d'information n°1, ARE, Berne, 3 septembre 2004, 4 p.

ARE, 2005a, *Les coûts externes imputables au bruit du trafic routier et ferroviaire en Suisse*, Actualisation pour l'année 2000, ARE, Berne, résumé, 8 p.

ARE, 2005b, *Güterverkehr durch die Schweizer Alpen 2004*, Bern, 31 p.

ARE, SIGMAPLAN, 2001, *AQGV 99. Alpenquerender Güterverkehr 1999*, Technischer Bericht Schweiz, 40 p. + Anhang

ARNAUD Raphaëlle, 1999, Application des Systèmes d'Information Géographique (SIG) dans le cadre de l'évaluation de l'efficacité de l'Inventaire des Monuments Naturels et des Sites, Rapport de Maîtrise, EPFL, 63 p.

ARNAUD Raphaëlle, 2001, *Vers une répartition modale « optimale » du trafic de transit de marchandises (la France/le sillon mosellan)*, Mémoire de DEA sous la direction du Professeur Pierre Merlin, Université Paris I – Panthéon Sorbonne, 145 p.

ARNAUD Raphaëlle, 2003a, Toward sustainable freight traffic through the Alps: freight traffic impacts considering environmental, social and economical sensitivities of crossed areas, LITEP-EPFL, Proceeding, Swiss Transport Research Conference, Monte Verità / Ascona, March 19-21 2003, 19 p.

ARNAUD Raphaëlle, 2003b, Transports combinés, des principes à l'application, *SCIENCES*, n° 2003-1, pp. 20-23

ATE, 2004, Sourds au bruit, *LEONARDO*, n°1 février 2004

- AUBREE D., 1960, *La gêne due au bruit des trains*, Centre scientifique et technique du bâtiment, Etablissement de Nantes
- BALLET Jérôme, DUBOIS Jean-Luc, MAHIEU François-Régis, 2004, A la recherche du développement socialement durable : concepts fondamentaux et principes de base, *Revue Développement durable et territoires*, Dossier 3 Les dimensions humaine et sociale du développement durable, février 2004, 19 p.
- BARBIER E.B., 1989, *Economics, natural-resource scarcity and development: Conventional and alternative views*, Earthscan, London, UK, 223 p.
- BARRUE Magali, DUCROS Laurent, HABASQUE Gilles, MEREAU Marc, 2002, Les Systèmes d'Information Géographique et la prise en compte de l'environnement dans les projets d'infrastructure, Scetauroute, Les Actes de la Conférence Francophone ESRI
- BASSAN Marielle, 2005, Electricity statistics. Provisional data for 2004, *Statistics in focus*, 5/2005, Energy, European Communities, Eurostat, 4 p.
- BÄTZING Werner, 2002, Les changements d'ordre environnemental, économique, social et démographique intervenant dans les Alpes, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Umweltbundesamt, Berlin, 40 p.
- BCRTEE (British Columbia Round Table on the Environment and the Economy), 1993, *Sustainability: from ideas to action*, Victoria, C.-B., British Columbia Round Table on the Environment and the Economy, 71 p.
- BEINAT E., NIJKAMP P., *Multicriteria analysis for land use management*, Environment & Management, Kluwer, 372 p.
- BELPOMME Dominique, 2004, *Ces maladies créées par l'homme. Comment la dégradation de l'environnement met en péril notre santé*, en collaboration avec Bernard Pascuito, Albin Michel, Paris, 380 p.
- BERENGIER M., CREMEZI CHARLET C., 2003, La propagation du bruit en milieu extérieur, Numéro spécial Bruit – 2^{ème} partie, *Revue générale des chemins de fer*, Edition Delville, octobre 2003, pp. 85-95
- BERNADET Maurice, 1998, L'évolution de la répartition modale : effet de la production ou effet de compétition ?, *Transports*, n° 359, mai-juin 1993, pp. 177-180
- BERTIN J., 1967, *Sémiologie graphique*, Gauthier-Villars Mouton, 431 p.
- BEUTHE Michel, JOURQUIN Bart, 2001, Vers une mobilité durable: effets économiques et spatiaux d'un transport de marchandises en augmentation, programme « Mobilité durable », Belgique, 19 p.
- BEUTHE M., DEGRANDSART F., GEERTS J.F., JOURQUIN B., 2002, External costs of the Belgian interurban freight traffic: a network analysis of their internalisation, *Transport research Part D*, volume 7, Pergamon, Elsevier, pp. 285-301
- BIRKMANN J., KOITKA H., KREIBICH V., LIENENKAMP R., 1999, *Indikatoren für eine nachhaltige Raumentwicklung. Methoden und Konzepte der Indikatorenforschung*, Dortmunder Beiträge zur Raumplanung 96, Universität Dortmund, Institut für Raumplanung, 173 p.

- BICKEL P., SCHMID S., KREWITT W., FRIEDRICH R. (edited by), 1997, External costs of transport in ExternE, IER Germany, 01 January 1996 to 31 May 1997, 19 p.
- BOIDIN Bruno, 2004, Les dimensions humaine et sociale du développement durable, *Revue Développement durable et territoires*, Introduction au Dossier 3 Les dimensions humaine et sociale du développement durable, février 2004
- BRANS Jean-Pierre, MARESCHAL Bertrand, 2002, Promethee-Gaia. *Une méthodologie d'aide à la décision en présence de critères multiples*, Université de Bruxelles, Editions Ellipses, 187 p.
- BUTTON Kenneth, NIJKAMP Peter, 2004, Introduction: challenges in conducting transatlantic work on sustainable transport and the STELLA/STAR initiative, *Transport review*, vol. 24, n°6, November 2004, pp. 635-643
- CEESE, 1999, Indicateurs de transport durables pour la Belgique: cadre conceptuel et méthodologique et sélection d'un set d'indicateurs, Working paper 3, Plan d'appui scientifique à une politique de développement durable, CEESE, Université libre de Bruxelles, 19 p.
- DE VILLERS J., RENIERS J.M., (CEESE - ULB), 2000, *Elaboration d'un set d'indicateurs pour le développement durable des transports en Belgique*, Première partie : Approche conceptuelle et méthodologique pour l'élaboration du set d'indicateurs, Services du Premier Ministre, SSTC, Plan d'appuis scientifique à une politique de développement durable, CEESE, Université libre de Bruxelles
- CEMT, 1994, Internaliser les coûts sociaux des transports, Ed. OCDE, Paris, 211 p.
- CEMT, 1990, *La politique des transports et l'environnement*, Paris, CEMT, 214 p.
- CEMT, 2001, *L'absence de cohérence au niveau européen dans les prévisions de trafic : le cas du trafic transalpin*, CEMT/CM(2001)21, CEMT, 92 p.
- CEMT, 2004, Evaluation & prise de décision pour des transports durables, OCDE, 254 p.
- CGST (Conception globale suisse des transports), 1978, *Modèles destinés à saisir les nuisances sonores et la pollution atmosphérique provoquée par le trafic*, Publ. par le Service d'étude des transports du DETEC, Berne, 27 p.
- CERCL' AIR et al., 1996, *La protection de l'air en Suisse*, Zollikerberg, 48 p.
- CERCLE BRUIT, 1998, *Bruit*, publication du Cercle Bruit Suisse, Lucerne, 1998, 99 p.
- CFF, non daté, *Bruit ? Non merci, Assainissement du bruit*, CFF, 15 p.
- CH, 1992, Exemption de l'interdiction de circuler la nuit et le dimanche et exemption de la limite des 28 tonnes, Annexe 6 de l'« Accord entre la Confédération suisse et la Communauté économique européenne sur le transport de marchandises par route et par rail », conclu le 2 mai 1992
- CH, 2005, Constitution fédérale de la Confédération suisse, du 18 avril 1999 (Etat le 29 mars 2005), 101
- CIPRA, 2004a Interdictions de circuler le dimanche pour les poids lourds toujours réglementées sur le plan national, CIPRA, *Alpmedia*, n°12/2004, 17.06.2004, 4 p.

- CIPRA, 2004b Transit des poids lourds – nouvelle étude et action dans toute l'Europe en octobre, CIPRA, *Alpmedia*, n°18/2004, 09.09.04, 4 p.
- CLEMENT Lionel, 2004, Traversées alpines, analyse rétrospective de long terme et premiers résultats de la politique des transports de la Suisse, *Transports*, N° 423, janvier-février 2004, pp. 30-40
- COHEN DE LARA M. et DRON D., 1997, *Evaluation économique et environnement dans les décisions publiques*, La documentation française, Paris, 414 p.
- COLBERG Christina A. et al., 2005, Statistical analysis of the vehicle pollutant emissions derived from several European road tunnel studies, *Atmospheric Environment*, n°39, pp. 2499-2511
- COMMISSION ECONOMIQUE DES NATIONS UNIES POUR L'EUROPE, 1997, Conférence régionale sur les transports et l'environnement, Déclaration de Vienne, ECE/RCTE/CONF./2/FINAL, 17 p.
- COMMISSION EUROPEENNE, 1992, *Livre blanc, Une stratégie pour revitaliser les chemins de fer communautaires*, Bruxelles, 127 p.
- COMMISSION EUROPÉENNE, 2001, *Livre blanc, La politique européenne des transports à l'horizon 2010 : l'heure des choix*, Luxembourg, 128 p.
- COMMISSION EUROPEENNE, 2002, Directive européenne 2002/49/CE sur le bruit dans l'environnement
- COMMISSION EUROPEENNE, 2004, Energie et transports. Bilan 2000-2004, Communautés européennes, Office des publications officielles des Communautés européennes, Luxembourg, 73 p.
- COMMISSION BRUNDTLAND, 1988, *Notre Avenir à Tous*, Rapport de la Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement (Rapport Brundtland), Les Editions du Fleuve, 434 p.
- CONSEIL FEDERAL AUX COMMISSIONS PARLEMENTAIRES, 2004, Rapport sur le transfert du trafic, 175 p.
- COWEN D.-J., 1988, GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences?, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, n° 54, pp. 1551-1554
- DEEN Thomas B., 1995, *Transportation and a sustainable environment: an opportunity for transportation engineers*, Theodore Matson award paper, Institute of transportation engineers, 10/1995 vol.65, no 10
- DEGRANDSART F., 2000, *L'évaluation des effets externes des transports de marchandises sur le territoire belge*, Rapport GTM-FUCEM
- DELAUNAY Janine, MEADOWS Donella H., DELAUNAY Jacques, 1973, *Halte à la croissance ?*, 1. Enquête sur le Club de Rome 2. Rapports sur les limites de la croissance, Fayard, Paris, 314 p.

DELETRAZ Gaëlle, 2001, Spatialisation des dépôts polluants liés au transport routier en zone de montagne – De la distance euclidienne à la distance-coût réelle, l'apport des Systèmes d'Information Géographique, Journées CASSINI, Montpellier, 26-28 septembre 2001, 4 p.

DELETRAZ Gaëlle, 2002, *Géographie des risques environnementaux liés aux transports routiers en montagne – Incidences des émissions d'oxydes d'azote en vallées d'Aspe et de Bariatou (Pyrénées)*, Thèse de doctorat, Université de Pau et des Pays de l'Adour, Laboratoire Société Environnement et Paysage, 564 p.

DELETRAZ Gaëlle, 2003, Caractéristiques spatiales et pollution automobile en montagne, Modèle de diffusion intégrant la topographie et capacité de dispersion appliqués aux vallées pyrénéennes de Bariatou et d'Aspe (Somport), 6ème rencontres de Théo Quant., Février 2003, 16 p.

DELETRAZ Gaëlle, PAUL Emmanuel, 1998, *Etat de l'art pour l'étude des impacts des transports routiers à proximité des routes et autoroutes*, SET, Université Joseph-Fourier, ADEME, 144 p.

DEPREZ Samuel, BOURCIER Alban, 2002, Vers des indicateurs de développement durable pour connaître, informer et décider : réflexion méthodologique appliquée à l'étude des effets environnementaux du transport de marchandises en ville, 22 p.

DETEC, 2001, Définitions concernant le trafic routier des marchandises : catégories de véhicules, Communiqué de presse Trafic routier constant, trafic ferroviaire croissant, Berne, 9 novembre 2001, 2 p.

DFTCE, 1988, Système d'indicateurs des coûts et avantages sociaux des transports en Suisse, Publication EMT 1/88, Etat-major pour les questions de transport / DFTCE, 319 p.

DIJKSTRA A., 1997, *A sustainable safe traffic and transport system: déjà-vu in urban planning?*, Contribution to the conference Traffic safety on two continents, Lisbon, Portugal, 19 p.

DOBSON, 1998, *Justice and the Environment*, Oxford University Press, Oxford

DORLAND C., JANSEN H.M.A., 1997, *ExternE Transport. The Netherlands. Dutch Case Studies on Transport Externalities. Final report*, Rapportnummer IVM-E—97-17, Institute for Environmental Studies (IVM), Vrije Universiteit, Amsterdam, Netherlands, 135 p.

DUMONT A.-G., TILLE M., 2000, *Le bruit*, Laboratoire des voies de circulation (LAVOC), EPFL, Edition octobre 2000, 68 p.

DURAND Alain, 2001, Impacts dus aux transports routiers, ferroviaires, aériens dans le milieu montagnard, 4^e Journée de l'environnement et du développement durable, DESS gestion de la Planète/Association GAÏA, Nice, 3 p.

EBP (Ernst Basler & Partner AG), 1998, *Mesure de la durabilité des transports*, Résumé du projet C5 et fil rouge pour la réalisation de projets de recherche, Dossiers du PNR 41, volume M2, Berne, 13 p.

EBP (Ernst Basler & Partner AG), 2000, *Nachhaltigkeit: Kriterien im Verkehr*, C5, PNR 41, Berne, 93 p.

- EBP (Ernst Basler & Partner AG), 2001a, *Güterverkehr – Herausforderungen und Chancen*, S2, PNR 41, Berne, 60 p.
- EBP (Ernst Basler & Partner), 2001b, *Les critères sociaux pour un transport durable*, SVI 2001/509
- ETCHELECOU André, DELETRAZ Gaëlle, ELICHEGARAY Christian, 2001, Programme Ecosystèmes Transports Pollutions, Rapport de synthèse, Pau, 77 p.
- EEA, 2001a, Road freight transport and the environment in mountainous areas – case study in the Alpine region and the Pyrenees, Technical report, n° 68, Copenhagen, 66 p.
- EEA, 2001b, TERM 2001 : Indicateurs pour le suivi de l'intégration transport et environnement dans l'Union Européenne, Environmental issue report, Copenhagen K, EEA, n° 23, 60 p.
- EMPA, IPS, 2003, *Verifikation vom PM₁₀ - Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs*, 203 p.
- ENVIRONNEMENT CANADA, TRANSPORT CANADA, 1997, Le transport durable, *Collection de monographies sur le développement durable au Canada*, n° 2, Le Ministère, Ottawa, Canada
- EPA, 1996, Policy Planning and Evaluation, *Indicators of the environmental impacts of transportation – Highway, rail, aviation and maritime transport*, first edition, Washington DC 20460, EPA 230-R-96-009, 207 p.
- EPA, 1999, Policy, *Indicators of the environmental impacts of transportation*, Updated second edition, Washington DC 20460, EPA 230-R-9-001, 109 p.
- EUROPEAN COMMISSION, 1995, *ExternE Externalities of energy*, Vol. 1 Summary, Compiled by ETSU, UK, Luxembourg, 179 p.
- EUROPEAN COMMISSION, ExternE Report, 1997, *ExternE costs of transport in ExternE*, Final Report, European Commission DG12, Non Nuclear Energy Programme Joule 3
- EUROPEAN COMMISSION, EUROSTAT, 2003, Panorama of transport. Statistical overview of transport in the European Union, Part 2, Data 1970-2001, 104 p.
- EUROPEAN COMMISSION, 1998, *ExternE Externalities of energy*, Vol. 1-8, Luxembourg, 1995-1998
- EUROPEAN COMMISSION, 1999, COST 319, Estimation of pollutant emissions from transport, Final Report of action COST 319, European Commission, Directorate General Transport
- 2003, SUMMA (Sustainable Mobility, policy Measures and Assessments), Deliverable 2 of Workpackage 1, Setting the context for defining sustainable transport and mobility, Final version 2.0, 104 p.
- EUROPEAN COMMISSION, 2005, ALPNAP monitoring and minimisation of traffic – induced noise and air pollution along major alpine transport routes, 3rd call of the Interreg IIIB programme « Alpine space »
- EYRE N.J., OZDEMIROGLU E., PEARCE D.W., STEELE P., 1997, Fuel and location effects on the damage costs of transport emissions, *Journal of Transport Economics and Policy*, 31(1), 1997, pp. 5-24

- FEITELSON Eran, 2002, Introducing environmental equity dimensions into the sustainable transport discourse: issues and pitfalls, *Transportation Research Part D*, Pergamon, Elsevier, pp. 99-118
- FORKENBROCK David J., 2001, Comparison of external costs of rail and truck freight transportation, *Transportation research Part A* 35, pp. 321-337
- GALLOPIN Gilberto Carlos, 1997, Indicators and their use: information for decision-making, in MOLDAN Bedrich, BILLHARZ Suzanne, 1997, *Sustainability indicators – Report of the project on Indicators of Sustainable Development – SCOPE 58* (Scientific committee on problems of the environment), Ed. Wiley, Chichester, pp. 13-27
- GAUTIER Pierre-Etienne, FODIMAN Pascal, 2004, La prise en compte du bruit dans les spécifications techniques d'interopérabilité : historique, évolution et perspectives, *Revue générale des chemins de fer*, avril 2004, pp. 7-18
- GIORGI Liana, SCHMIDT Michael, 2005, Transalpine transport: A local problem in search of European solutions or a European problem in search of local solutions?, *Transport Reviews*, Vol. 25, N° 2, March 2005, pp. 201-219
- GOLAY François, 2002, Conférence « Territoire et informatique », mercredi 30 octobre 2002, EPFL
- GONDARD-DELCROIX Claire, ROUSSEAU Sophie, 2004, Vulnérabilité et stratégies durables de gestion des risques : une étude appliquée aux ménages ruraux de Madagascar, *Revue Développement durable et territoires*, Dossier 3 Les dimensions humaine et sociale du développement durable, février 2004, 25 p.
- GOSSELIN P., BELANGER D., BIBEALT J, WEBSTER A., 1993, « Indicators for a sustainable society », *Canadian Journal of Public Health*, 84/3, pp. 197-200
- GREEN David L., JONES Donald W., DELUCCHI Mark A. (editors), 1997, *Full costs and benefits to transportation: contributions to theory, method and management*, Springer Verlag, Berlin, 406 p.
- GUGLIELMINETTI Paolo, 2001, *Optimisation des performances du transport ferroviaire de marchandises : un système d'aide à la décision pour la planification à moyen terme*, Thèse sciences techniques, EPF Lausanne, no 2394 (2001), Département de génie civil, Rapporteur: R. Rivier, co-rapporteurs: A. Musso, F.-L. Perret, C. Reynaud, Lausanne, 197 p.
- HAMMOND A., ADRIAANSE A., RODENBURG E., BRYANT D., WOODWARD R., 1994, *Environmental indicators: A systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development*, Washington DC, World Resources Institute, 50 p.
- HAQ Gary, 1997, Towards sustainable transport planning: a comparison between Britain and the Netherlands, *Town Planning Review*, Avebury Press, Hampshire, England, pp 192-232
- HARDI Peter, BARG Stephan, 1997, *La mesure du développement durable : étude des pratiques en vigueur*, Ottawa, Ontario : Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 124 p.
- HERTIG Jacques-André, 1999, *Etudes d'impact sur l'environnement*, Traité de génie civil de l'EPFL, Vol. 23, Presses polytechniques et universitaires romandes, 453 p.

- HICKMAN A.J., 1997, *Emissions functions for heavy duty vehicles*, TRL Report n° PR/SE/289/97, Crowthorne, UK, 24 p.
- HILTY Anne-Lise, 2005, Les particules fines tuent, *Léonardo*, n° 5, août 2005, pp. 6-13
- HOLLINGTON Karen, 1996, *Surveillance de la qualité de l'air : la place du transport routier interurbain*, DESS Gestion & Génie de l'environnement, Université Paris 7 – Denis Diderot, SETRA, 66 p.
- HOLMBERG J., SANDBROOK R., 1992, Sustainable development: What is to be done?, *Making Development Sustainable: Redefining Institutions, Policy, and Economics*, Holmberg J. (eds), Policies for a small planet, London, UK, pp. 19-38
- HÜGLIN Ch., 2000, Anteil des Straßenverkehr an den PM10 – und PM2.5 – Immissionen, PNR 41, C4, 15 p.
- HYDRO QUEBEC, 1990, *Méthode d'évaluation environnementale lignes et postes*, Hydro-Québec, Vice présidence environnement, Montréal, 321 p.
- IFEU, SGKV, 2002, *Comparative analysis of energy consumption and CO2 emissions of road transport and combined transport road/rail*, IRU, BGL, 130 p.
- IKAÖ, EBP et al., 2000, Wuppertal Institut, *Strategie Nachhaltiger Verkehr*, PNR 41
- IKAÖ, EBP, 2000, *Der Weg zu mehr Nachhaltigkeit im Verkehr in der Schweiz*, PNR 41
- INITIATIVE DES ALPES, 2000, Danger d'asphyxie, Initiative des Alpes
- INITIATIVE DES ALPES, 2002, Le trafic assourdit les vallées alpines, supplément au journal *échos*, n° 66, 17 mai 2002, 4 p.
- INITIATIVE DES ALPES, 2006, Le « Monsieur statistiques du transit » *échos*, n° 85, 20 février 2006, pp. 6-7
- INFRAS, IWW, 2004a, *External costs of transport*, Update study, Final report, Zürich/Karlsruhe, 169 p.
- INFRAS, IWW, 2004a, *External costs of transport*, Update study, Executive summary, Zürich/Karlsruhe, INFRAS, IWW, 16 p.
- INFRAS, IWW, 2004b, *Coûts externes de la santé imputables à la pollution de l'air par les transports – études trilatérales de l'Autriche, de la France et de la Suisse*. External costs of transport, Update study, executive summary, Zürich/Karlsruhe, INFRAS, IWW, 16 p.
- ISING H., 2000, *Das Herzinfarktrisiko aufgrund von Verkehrslärm im Vergleich zu Krankheitsrisiken durch Luftverschmutzung*, Umweltbundesamt (a.D.), 9. Konferenz Verkehrslärm 2000
- JANIC Milan, 2006, Sustainable transport in the European Union: A review of the past research and future ideas, *Transport Reviews*, Vol. 26, N°1, January 2006, pp 81-104
- JENNI & GOTTARDI AG, 1999, *La durabilité concernant le trafic routier. Critères des évaluations pour des projets et des planifications routiers*, 2001, SVI 1999/141

- JOERIN Florent, 1995, Méthode multicritère d'aide à la décision et SIG pour la recherche d'un site, *Revue internationale de géomatique*, numéro 1, volume 5, 1995, pp. 37-51
- JOERIN Florent, 1997, *Décider sur le territoire. Proposition d'une approche par utilisation de SIG et de méthodes d'analyse multicritère*, Thèse présentée au Département de Génie rural, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, 220 p.
- JOHN Christian et al., 1999, Comparison of emission factors for road traffic from a tunnel study (Gubrist tunnel, Switzerland) and from emission modelling, *Atmospheric environment*, n° 33, pp. 3367-3376
- JORGENSEN M.W., SORENSON S.C., 1997, *Methodologies for estimating air pollutant emissions from transport: estimating from railway traffic*, Report for the Project MEET, ET-EO-97-03
- JOUMARD Robert, 1982, *Effets des polluants automobiles sur la santé*, Arcueil IRT, 118 p.
- JOURQUIN B., 1995, *Un outil d'analyse économique des transports de marchandises sur des réseaux multi-modaux et multi-produits. Le réseau virtuel, concept, méthodes et applications*, Thèse de doctorat, Facultés Universitaires Catholiques de Mons (Fucam)
- JULIEN B., FENVES S.J., SMALL M. J., 1992, An environmental impact identification system, in *Journal of Environmental Management*, Vol. 36, 1992, pp. 167-184
- KELLER M. et al., 2000, *MODUM : MODell Umwelt Mobilität*, PNR 41, Berne
- KESELJEVIC Christophe, 2003, Réseau Ferré de France et développement durable, *Revue générale des chemins de fer*, janvier 2003, pp. 11-18
- KNAFOU Rémy, 1994, *Les Alpes*, Que sais-je ?, Presses Universitaires de France, Paris, 127 p.
- KNOEPFEL Peter, DESCLOUX Martin, 1988, Valeurs limites d'immissions : choix politiques ou déterminations scientifiques ? IDHEAP, Lausanne, 40 p.
- KÜRER R., 1993, *L'environnement, les effets globaux et locaux*, CEMT
- KURZE U.J., 2001, Lärm im Alpenraum durch Strassen- und Schienenverkehr, Planegg bei München, Müller-BBM Schalltechnisches Beratungsbüro, 18 p.
- LAARBI Amor, 2000, *SIG et Analyse Multicritère*, Hermès Science publications, Paris, 194 p.
- LAGANIER Richard, VILLALBA Bruno, ZUINDEAU Bertrand, 2002, Le développement durable face au territoire: éléments pour une recherche pluridisciplinaire, *Revue Développement Durable & Territoires*
- LAMBERT Jacques, LAMURE Claude, 1994, Méthode pour les différents niveaux d'évaluation, Séminaire international sur les méthodes quantitatives d'évaluation de l'impact sur l'environnement des programmes et projets de transports terrestres, Paris, 9 et 10 décembre 1993, INRETS, pp. 11-20
- LAMBERT J., 2003, La gêne due au bruit des transports terrestres, Numéro spécial Bruit – 1^{re} partie, *Revue générale des chemins de fer*, Edition Delville, octobre 2003, pp. 35-42
- LAMURE Claude, 1991, Critères d'évaluation stratégique pour l'environnement des infrastructures de transport, *Recherche Transports Sécurité*, n° 32, pp. 157-164

- LAMURE Claude, LAMBERT Jacques, 1993, *Impacts des transports terrestres sur l'environnement, Méthodes d'évaluation et coûts sociaux*, Synthèse INRETS n° 23, Bron, 101 p.
- LANDRIEU Guy, COUSSY Paula, FURLAN Sandro, JOURDAIN Estelle, 2002, *Projet ExternE, L'évaluation des effets externes du transport sur l'environnement*
- LARRUE C., 2000, *Analyser les politiques publiques d'environnement*, L'Harmattan, Collection Logiques politiques, Paris, 207 p.
- LASSMAN-TRAPPIER Anne, 2004, Transport routier et pollution dans les Alpes - Le cas particulier de la vallée de Chamonix, Dossier de synthèse, ABS – ARSMB - CPVH, 12 p.
- LAT (Loi fédérale sur l'Aménagement du Territoire), 1979, loi du 22 juin 1979, état le 13 mai 2003, 700, 14 p.
- LAURINI Robert, MILLERET-RAFFORT Françoise, 1993, Les bases de données en géomatique. Traités des nouvelles technologies, Série Géomatique, Edition Hermès, 340 p.
- LCR (Loi fédérale sur la Circulation Routière), 2004, du 19 décembre 1958 (Etat le 21 décembre 2004), 741.01, 66 p.
- LELIÈVRE M., SÉRODES J., 1995, A new approach for the identification of environmental issues at stake in a road project, *Journal of Environmental Management*, Vol. 44, 1995, pp. 221-231
- LÉOPOLD L.B., CLARKE F.B., HANSHAW B.B., BALSEY J.R., 1971, A procedure for evaluating environmental impact assessment, *US Geological Survey Circular* 645, Washington, 1971, 13 p.
- LEUENBERGER Moritz, 1999, Politique des transports dans l'arc alpin « Transports - les jalons suisses », Exposé à l'occasion du Forum « Tunnel 2000 » de la Fondation pour l'économie et le développement durable des régions d'Europe (FEDRE), en collaboration avec la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe, Genève, 16 décembre 1999
- LEYRIT Christian, POUTCHY-TIXIER Jean-Charles, 1999, *Glossaire des concepts de développement et de transports durables*, Association Mondiale de la Route, Groupe Transport Durable
- LGMB, 1995, Local Government Management Board, *Sustainability indicators research project: Consultants' report of the pilot phase*, Luton, Bedfordshire, Local Government management board
- LINDBERG G., 1999, *Calculating transport accident costs*, European Commission, Börlange, 53 p.
- LITMAN Todd, BURELL David, 2003, Issues in sustainable transportation, 21 p.
- LITRA (Service d'information pour les transports publics), 2004, Les transports en chiffres '04
- Loi sur le CO₂, 1999, Loi fédérale du 8 octobre 1999 sur la réduction des émissions de CO₂, 8 p.
- LPD (Loi fédérale sur la Protection des Données), 1992, loi du 19 juin 1992, état le 20 juin 2006, 235.1, 18 p.

- LPE (Loi fédérale sur la Protection de l'Environnement), 1983, loi du 7 octobre 1983, état le 23 août 2005, 814.01, 40 p.
- LRFP (Loi sur le Recensement Fédéral de la Population), 1998, loi du 26 juin 1998, état le 13 janvier 1999, RO 1999, 4 p.
- LUTZ R., 1981, Bruits dans le domaine ferroviaire, Documents pour l'évaluation de bruit de trafic ferroviaire, ORE, document technique, DT 125 (C 137. – 1981), 165 p.
- MACLAREN V.W., 1996, *Developing Indicators of Urban Sustainability: A Focus on the Canadian Experience*, ICURR Press, Toronto, 130 p.
- MACNEILL J., RUNNALS D., 1993, *A strategy for sustainable energy development and use for Ontario Hydro*, Report of the task force on sustainable energy development, Ontario Hydro
- MADEC Patrick, 2003, *Les indicateurs de développement durable*, Mémoire de DESS, Université de Montpellier II, INRA, 118 p.
- MAIZERET Christian, 1996, Les méthodes d'évaluation des impacts sur la faune sauvage, *Les méthodes d'évaluation des impacts sur les milieux*, Les ingénieurs écologues, 77
- MARTIN Jean, MAYSTRE Lucien Yves, 1988, *Santé et pollution de l'air*, Lausanne Presses Polytechniques Romandes, collection Gérer l'environnement, cop., 250 p.
- MAVROULIDOU Maria, HUGHES Susan J., HELLAWELL Emma E., 2004, A qualitative tool combining an interaction matrix and a GIS to map vulnerability to traffic induced air pollution, *Journal of Environmental Management*, n°70, Elsevier, pp. 283-289
- MAY ANTHONY D. et al., 2003, *Guide pour les décideurs*, Commission Européenne, prospects - Pour des stratégies de développement durable des transports et de l'aménagement urbain, Energie environnement et développement durable, 52 p.
- MAYERES I., OCHELEN S., PROOST S., 1996, The marginal external costs of urban transport, *Transportation Research D* 1 2 (1996), pp. 111-130
- MAYSTRE Lucien Yves, PICTET Jacques, SIMOS Jean, 1994, *Méthodes multicritères ELECTRE*, Presses Polytechniques Romandes, 321 p.
- MC HARG Ian, 1969, *Design with nature*. Garden City, New-York: Natural History Press, 198 p.
- MEIER Andrea, 2004, Instruments de mesure du développement durable, *Forum du développement territorial* 2/2004, pp. 61-63
- METZ Kurt, 2004, *Bilan de la situation, La libéralisation du trafic ferroviaire de marchandises et le transfert du trafic à travers les Alpes suisses*, LITRA, VAP-Cargorail, Zürich, 80 p.
- MfE (Médecins en faveur de l'Environnement suisse), ISDE (International Society of Doctors for the Environment), 2002, *Transports – environnement – santé*, Brigue/Bâle, 64 p.
- MICHEL Patrick, 2001, *L'étude d'impact sur l'environnement*, Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, France, 157 p.

MICHEL Patrick, MONIER Thierry, 2001, *L'évaluation environnementale des plans et programmes de transport, – enjeux, indicateurs d'effets et outils d'évaluation*, BCEOM, Ed. MATE (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement), France, 89 p.

MIEDEMA H.M.E. & OUDSHOORN C.G.M., 2000, Elements for a position paper on relationships between transportation noise and annoyance, *TNO report PG/VGZ/00.52*, July 2000

MINISTERE DE LA REGION WALLONE, INSTITUT SCIENTIFIQUE DE SERVICE PUBLIC, 1999, Réseaux AIR, Rapport 1999, DGRNE, 349 p., <http://mrw.wallonie.be/dgrne/rapports/dppgss/air1999>

MOLDAN Bedrich, BILLHARZ Suzanne, 1997, *Sustainability indicators – Report of the project on Indicators of Sustainable Development – SCOPE 58* (Scientific committee on problems of the environment), Ed. Wiley, Chichester, 278 p.

MOLINES Nathalie, 2003, *Méthode et outils pour la planification des grandes infrastructures linéaires et leur évaluation environnementale*, Thèse de doctorat, Université Jean Monnet de Saint Etienne, 450 p.

MÖHLER U., 1985, Etude bibliographique sur l'effet du bruit de trafic ferroviaire seul et comparé à d'autres sources de bruit de trafic, Utrecht, ORE, 181 p.

MORCHEOINE Alain, 2001, Lessons about how to deal in the future with traffic problems in mountainous areas, Proceedings of the international conference « Sensitive areas – a key challenge for environment and transport in Europe », 14-15 March 2001, Eisenstadt, Austria, pp. 77-78

MOUVIER Gérard, 1994, La pollution atmosphérique, Dominos Flammarion, 123 p.

MÜLLER-WENK R., 1999, *Life-Cycle Impact Assessment of Road Transport Noise*, IWOE-Diskussionsbeitrag Nr. 77

NATIONS UNIES, 1992, Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement, Assemblée générale, A/CONF.151/26 (Vol. I)

NATIONS UNIES, 1993, *Agenda 21: Programme of action for sustainable development*, Rio Declaration on Environment and Development, Statement of Forest Principles: the final text of agreements negotiated by Governments at the United Nations Conference on Environment and Development (UNCED), 3-14 June 1992, Rio de Janeiro, 294 p.

NEWTON P.N. (Ed.), 1997, Reshaping cities for a more sustainable future – Exploring the link between urban form, air quality, energy and greenhouse gas emissions, *Research Monograph 6*, Melbourne, Australian Housing and Research Institute (AHURI)

NICOLAS Jean-Pierre, 2002, Le coût des nuisances des transports : méthodes d'évaluation et usage des résultats obtenus, Document de travail n°98/02, 21 p.

NIJKAMP Peter, 1994, Roads toward environmentally sustainable transport, *Transportation Research A*, vol. 28, N°4, Elsevier Science, 1994, pp. 261-271

NIJLAND H. A., VAN WEE G. P., 2005, Traffic noise in Europe: a comparison of calculation methods, noise indices and noise standards for road and railroad traffic in Europe, in *Transport reviews*, vol. 25, No 5, September 2005, pp. 591-612

- OCDE, 1996, *Prévention et contrôle de la pollution. Critères environnementaux pour des transports durables*, Rapport sur la phase I du projet sur les Transports Ecologiquement Viabiles (TEV), Paris
- OCDE, 1997, *Les incidences sur l'environnement du transport de marchandises*, OCDE, Paris, 40 p.
- OCDE, 2000, *Environmentally Sustainable Transport (EST). Futures, strategies and best practices*, Synthesis report of the OCDE conference, 4-6 October 2000, Vienna, 50 p.
- OCDE – CEMT, 1998, Internaliser les coûts sociaux des transports, Résolution n°98/1 sur la stratégie des pouvoirs publics à l'égard de l'internalisation des coûts externes des transports, CEMT/CM(98)5/FINAL, Réunion des Ministres des Transports de la CEMT à Copenhague les 26 et 27 mai 1998, CEMT-OCDE, 5 p.
- OETTERLI Jörg, PERRET Francis-Luc, WALTER Félix, 2001, *Repère pour une mobilité durable*, Synthèse du PNR 41 « Transport et environnement », S8, Aspects politiques, scientifiques et mise en œuvre, Synthèse S8, Berne, 176 p.
- OFEFP, OFAT, 1988, Protection contre le bruit et aménagement du territoire, Berne, 145 p.
- OFEFP, 1986, Valeurs limites d'immissions pour les polluants atmosphériques, *Cahier de l'environnement*, n° 52, Berne, 82 p.
- OFEFP, 1989, Procédé approximatif pour la détermination du bruit des chemins de fer, *Cahier de l'environnement*, n° 114
- OFEFP, 1990, SEMIBEL. Modèle suisse des émissions et des immissions pour le calcul du bruit des chemins de fer, *Cahier de l'environnement*, n° 116
- OFEFP, 1992, La signification des valeurs limites d'immissions de l'ordonnance sur la protection de l'air, *Cahier de l'environnement*, n° 180, Air, Berne, 63 p.
- OFEFP, 1999, Modélisation de la charge en PM₁₀ sur le territoire suisse, *Cahier de l'environnement*, n° 310, Berne, 99 p.
- OFEFP, OFS, 2000, Sustainable development in Switzerland – Factors for an indicator system – A pilot study based on the methodology of the United Nations Commission on Sustainable Development (CSD), Neuchâtel, 37 p.
- OFEFP, 2001, *Mesures de réduction des émissions de PM₁₀*, Documents environnement, n°136, Air, Berne, 118 p.
- OFEFP, 2002a, PM₁₀ – *Emissionen des Verkehrs, Statusbericht Teil Schienenverkehr*, Umwelt-Materialien Nr. 144, Luft, Berne, 48 p.
- OFEFP, 2002b, Lutte contre le bruit en Suisse – Etat actuel et perspectives, *Cahier de l'environnement*, n° 329, BUWAL, Berne, 101 p.
- OFEFP, 2002c, *Suivi des mesures d'accompagnement Environnement – SMA-E*, Berne, ??? p.
- OFEFP, 2002d, Ce bruit qui nous rend malades, Impacts sur l'environnement, Bruit, *Environnement Suisse 2002*, Berne, pp. 165-172

- OFEFP, 2002e, Imputation au trafic routier des atteintes à la santé dues au bruit, *Cahier de l'environnement*, n° 339, Bruit, Berne, 70 p.
- OFEFP, 2004a, Emissions polluantes du trafic routier de 1980 à 2030, *Cahier de l'environnement*, Nr. 355, Air, Berne, 101 p.
- OFEFP, 2004b, SonRoad – Modèle de calcul du trafic routier, *Cahier de l'environnement*, n° 366, Bruit, Berne, 74 p.
- OFEFP, 2005, Le bruit nous poursuit, Dossier bruit, *Environnement*, OFEFP, 2/2005, pp. 6-43
- OFEV, 2004, MICET 2.1 « Manuel Informatisé des Coefficients d'Emission du Trafic routier », CD Rom, Berne, www.hbefa.net
- OFEV, OFS, 2006, *L'environnement suisse. Statistique de poche 2006*, OFS, 32 p.
- OFROU, 1983, *Die Lärmabstrahlung von Strassentunnel-Portalen*, Bundesamt für Strassenbau, Forschungsaufträge 25/77 und 16/82
- OFROU, 2003a, NISTRA : *Indicateurs du développement durable pour les projets d'infrastructure routière, Un instrument d'évaluation de projets d'infrastructure routière qui prend en compte les objectifs du développement durable*. Description détaillée de la méthode, 143 p.
- OFROU, 2003b, NISTRA: *Indicateurs du développement durable pour les projets d'infrastructure routière*, Description détaillée de la méthode, Berne, 2003, 19 p.
- OFS, 1993, *L'utilisation du sol en Suisse – Statistique de la superficie 1979/85*, Bern, 191 p.
- OFS, 1994, Le bruit, *Statistique suisse de l'environnement*, n° 1, Berne, 13 p.
- OFS, 1999, La santé, *Statistique suisse de l'environnement*, n°10, Office fédéral de la statistique Neuchâtel, 20 p.
- OFS, 2001, *GEOSTAT Manuel de l'utilisateur*, Berne, 448 p.
- OFS, OFEFP, 1998, *L'utilisation du sol en Suisse et en Europe. Intégration de la statistique de la superficie dans le système européen CORINE Land Cover*, Neuchâtel, 43 p.
- OFS, OFEFP, 1999, *Développement durable en Suisse. Eléments pour un système d'indicateurs*, Neuchâtel, 111 p.
- OFS, OFEFP, ARE, 2000, *Projet MONET – Monitoring du développement durable – Description sommaire du projet conjoint et du programme de travail*, Neuchâtel, 17 p.
- OFS, OFEFP, ARE, 2001a, *Projet MONET – Monitoring du développement durable – Structure du système et sélection des indicateurs - Document de travail - version provisoire*, Neuchâtel, 27 p.
- OFS, OFEFP, ARE, 2001b, *Projet MONET – Monitoring du développement durable – Définition et interprétation du développement durable - Document de travail - version finale*, Neuchâtel, 23 p.
- OFS, OFEFP, ARE, 2002, *Mesurer le développement durable, un aperçu de MONET – le système suisse de monitoring*, 25 p.

- OFS, OFEFP, ARE, 2003, *Le développement durable en Suisse*, Indicateurs et commentaires, Neuchâtel, 15 p.
- OFS, OFEFP, ARE, 2003, *Monitoring du développement durable MONET*, Rapport final - méthodes et résultats, 21 - développement durable et disparités régionales, Neuchâtel, 48 p.
- OFS, OFROU, SIGMAPLAN, 2001a, *Comptage suisse de la circulation routière 2000. Guide d'utilisation SSVZ-CD 2000. Version 1.0*, 9 p.
- OFS, OFROU, SIGMAPLAN, 2001b, *Comptage suisse de la circulation routière 2000*, 11 Transports et communications, Bern, Neuchâtel, 500 p.
- ÖKOSCIENCE, 2000, *Impact du trafic de transit sur la pollution dans les vallées alpines*, Ökoscience, Zürich, 6 p.
- OMS, 2000, Effets défavorables du bruit sur la santé (chapitre 3), Résumé d'orientation des Directives de l'OMS relatives au bruit dans l'environnement
- OPair (Ordonnance sur la Protection de l'air), 1985, loi du 16 décembre 1985, état le 23 août 2005, 814.318.142.1, 86 p.
- OPAM (Ordonnance sur la protection contre les accidents majeurs), 1991, loi du 27 février 1991, état le 23 août 2005, 814.012, 30 p.
- OPB (Ordonnance sur la Protection contre le Bruit), 1986, loi du 15 décembre 1986, état le 21 septembre 2004, 814.41, 42 p.
- PEARCE D.W., BARBIER E.B., MERKANDYA A., 1990, *Sustainable development: economics and environment in the Thirst World*, Edward Elgar Publishing, Aldershot, UK
- PEZZEY J., 1989, Economic analysis of sustainable growth and sustainable development, Environment department, Working Paper No 15, World Bank, Washington DC
- PEZZOLI, 1997, Sustainable development: a transdisciplinary overview of the literature. *Journal of Environmental Planning and Management*, n°40, pp. 507–575
- PFISTER, S. et al. 2001: Lärm in Gütertransport-Ökobilanzierungen, ETH-UNS Fallstudie 2000 – Zukunft Schiene Schweiz, S.181–202, Verlag Rüegger, Zürich
- PINCONNAT P., 2003, Quelques définitions relatives au bruit, Numéro spécial Bruit – 1^{re} partie, *Revue générale des chemins de fer*, Edition Delville, octobre 2003, pp. 43-58
- PROFILLIDIS V.A., BOILÉ M.P., 2001, Evolutions et restructurations du transport de fret en Europe, in *Transports*, n° 45, janvier-février 2001, pp. 34-37
- QUINET Emile, 1998, *Principes d'économie des transports*, Economica, Paris, 407 p.
- RAMBEAUX Sylvie, 1996, Evaluation monétaire des impacts des transports sur l'environnement, *Les méthodes d'évaluation des impacts sur les milieux*, Les ingénieurs écologues, pp. 37-48
- RIMV report, 1998, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIMV), Verkeer en vervoer in de Nationale Milieuverkenning, 1997–2020, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Bilthoven

- RATTI Remigio & RUDEL Roman, 1993, Tableau de l'évolution des transports dans l'arc alpin, *Revue de Géographie Alpine*, n° 81(4), pp. 11-26
- RIVIER Robert E., 1996, *Capacité d'un système ferroviaire Cas NLFA – AlpTransit*, ITEP – TSO, 12 p.
- RIVIER Robert E., 2006, La mobilité marchandises, le ferroutage, Présentation lors du Symposium AISEN Mobilité durable, EPFL, 17 mai 2006
- ROE D., DALA-CLAYTON B., HUGHES R., 1996, *A background to Impact Assessment in a directory of impact assessment guidelines*, International institute for environment and development
- RÖTHLISBERGER Christian, 2003, La politique du Conseil fédéral suisse en matière de transfert du trafic marchandises de la route au rail, Actes du colloque Options techniques pour le transport des marchandises à travers l'arc alpin, Archamps (Haute-Savoie), 26 septembre 2002, *SCIENCES*, 2003-1, pp. 17-19
- ROUET Paul, 1991, *Les données dans les systèmes d'information géographique*, Traité des Nouvelles Technologies, Série Géographie assistée par ordinateur, Hermès, Paris, 278 p.
- ROY Bernard, 1985, *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*, Economica, Paris, 423 p.
- ROY Bernard, 1997, L'aide à la décision aujourd'hui : que devrait-on en attendre ?, Document du Lamsade n° 104, LAMSADE, Université Paris-Dauphine, Paris, 61 p.
- SAATY Thomas L., 1990, *Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process*, Vol. 1, AHP Series, RWS Publications, 502 pp.
- SAATY Thomas L., 1984, *Décider face à la complexité: une approche analytique multicritère d'aide à la décision*, Entreprise Moderne d'Édition, Paris, 231 p.
- SADAR H., 1996, *Evaluation des impacts environnementaux*, Carleton University Press pour Impact Assessment Centre, Ottawa, Canada, 158 p.
- SAMI BEN MENA, 2004, Introduction aux méthodes multicritères d'aide à la décision, *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, pp. 83-93
- SAYERS T.M., Jessop A.T., Hills P.J., 2003, Multi-criteria evaluation of transport options - flexible, transparent and user-friendly? *Journal of Transport Policy* 10(2), pp 95-105
- SCHÄRLIG Alain, 1985, *Décider sur plusieurs critères – Panorama de l'aide à la décision multicritère*, Presses polytechniques et universitaires romandes, Collection Diriger l'entreprise, Lausanne, 304 p.
- SCHMID Stephan A. (IER), BICKEL Peter (IER), FRIEDRICH (IER) Rainer, 2001, Deliverable 4: External cost calculation for selected corridors, Projet RECORDIT: Real COst Reduction of Door-to-door Intermodal Transport
- SEBASTIEN Léa, BRODHAG Christian, 2004, A la recherche de la dimension sociale du développement durable, *Revue Développement durable et territoires*, Dossier 3 Les dimensions humaine et sociale du développement durable, février 2004, 25 p.
- SEN Amartya, 1987, *Commodities and capabilities*, Oxford India Paperbacks, OUP, Oxford

- SG DFTCE, 1997, *Umweltindikatoren im Verkehr – Kennziffern für einen ökologischen Vergleich der Verkehrsmittel*, GVF – Bericht 1/97, Berne, 88 p.
- SIMOS Jean, 1990, *Evaluer l'impact sur l'environnement*, Presse polytechnique et universitaires romandes, Collection Méta, Lausanne, Suisse, 261 p.
- SINHA S., 1998, Environmental impact assessment: an effective management tool, *TERI Information Monitor on Environmental Science*, pp. 1-7
- SMALL K.A., KAZIMI C., 1995, On the costs of air pollution from motor vehicles, in *Journal of Transport Economics and Policy*, 1995, pp. 7-32
- SMITH L. G., 1993, *Impact assesement and sustainable resource management*, Longman Scientific and Technical, New-York
- SOCIETE FRANÇAISE DE SANTE PUBLIQUE, 1996, *La pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé publique*, Vandoeuvre-lès-Nancy, Société française de santé publique, 251 p.
- SSTC, 2001, Adéquation d'un modèle de simulation de trafic et d'un modèle de simulation d'émissions atmosphériques, publication SP0856, rapport final, programme « Mobilité durable », Bruxelles, SSTC
- STAEHELIN Johannes et al., 1995, Emission factors from road traffic from a tunnel study (Gubrist tunnel, Switzerland). Part I: concept and first results, *The science of the total environment*, n°169 (1995), pp. 141-147
- STAEHELIN Johannes et al., 1998, Emission factors from road traffic from a tunnel study (Gubrist tunnel, Switzerland). Part III: results of organic compounds, SO₂ and specification of organic exhaust emission, *Atmospheric environment*, Vol. 32, n° 6, pp. 999-1009
- STERN Arthur C. (ed. by), 1962, *Air pollution*, Volume 1, Academic Press, New-York and London, 656 p.
- SUSTAINABLE SEATTLE, 1993, *Indicators of sustainable community*, Seattle, WA, Sustainable Seattle, 36 p.
- TARDIEU Philippe, 2003, Les flux de transport à travers l'Europe, *SCIENCES*, n° 2003-1, pp. 6-10
- T&E, 2000, Le bruit en Europe – explications de la Communauté des ONG concernant le problème de la pollution sonore
- TELE ATLAS, 2003a, *Tele Atlas Multinet™ Europe, 2003.2 Release Notes*, TeleAtlas NV and Tele Atlas North America Inc., 33 p.
- TELE ATLAS, 2003b, *Tele Atlas Multinet™ Austria 2003.2 Release Notes*, TeleAtlas NV and Tele Atlas North America Inc., 20 p.
- TELE ATLAS, 2003c, *Tele Atlas Multinet™ Italy 2003.2 Release Notes*, TeleAtlas NV and Tele Atlas North America Inc., 20 p.
- TELE ATLAS, 2003d, *Tele Atlas Multinet™ France 2003.2 Release Notes*, TeleAtlas NV and Tele Atlas North America Inc., 20 p.

TELE ATLAS, 2003e, *Tele Atlas MultinetTM Switzerland 2003.2 Release Notes*, TeleAtlas NV and Tele Atlas North America Inc., 20 p.

TELE ATLAS, 2003f, *Tele Atlas MultinetTM shapefile format specifications*, Tele Atlas North America Inc., 148 p.

TELE ATLAS, 2003g, *Tele Atlas MultinetTM standard data specifications*, Tele Atlas North America Inc.

THERIAULT Marius, 1996, Systèmes d'information géographique: concepts fondamentaux, Notes et documents de cours n°12, Département de géographie, Université Laval, Québec, 2^{ème} édition, 165 p.

THEYS J., 2002, L'approche territoriale du développement durable, condition d'une prise en compte de sa dimension sociale, *Revue Développement Durable et Territoire*, Dossier n°1 Approches territoriales du développement durable, 18 p.

THOMSON M. A., 1993, Determining impact significance in EIA: a review of 24 methodologies, *Journal of Environmental Management*, Vol. n° 30, 1993, pp. 235-350

TIKNIUINE A., EL ADNANI M., 2002, Essai d'intégration des SIG à représentation multiple et des méthodes multicritères d'aide à la décision pour l'aménagement du territoire

TSAMBOULAS Dimitrios, MIKROUDIS George, 2000, EFECT – evaluation framework of environmental impacts and costs of transport initiatives, *Transportation research part D*, 2000, pp. 283-303

UICN, 1951, *Rapport sur l'Etat de l'Environnement dans le Monde*

UICN, 1980, *Stratégie mondiale de la conservation : la conservation des ressources vivantes au service du développement durable*, Gland

UICN, PNUE, WWF, 1991, *Sauver la planète. Stratégie pour l'avenir de la vie*, Gland, Suisse, 250 p.

UIRR, NESTEAR, LUGMAIR, 2003, *Contribution du transport combine à la réduction des émissions de CO₂*, Rapport de Synthèse, Bruxelles, 15 p.

UIRR, NESTEAR, LUGMAIR, 2003, *Contribution du transport combiné à la réduction des émissions de CO₂*, Rapport de Synthèse, Bruxelles, 15 p.

Umleitung Gotthard 2001, 2001, Auswirkung der Verkehrsverlagerung auf die Luft- und Lärmbelastung in den Kantonen Graubünden, Tessin und Uri, Kantonale Umweltschutzämter GR, TI und UR sowie BUWAL Chur, 54 p.

UNION EUROPEENNE, 1998, Le traité d'Amsterdam, *Revue trimestrielle de droit européen* 4 (1997), Paris, Dalloz, 396 p.

UNION EUROPEENNE, 2004, Priorités et stratégies dans la lutte contre le bruit ferroviaire en Europe – les propositions du document élaboré par le groupe de travail « Bruit ferroviaire » de l'UE, *Rail international Schienen der Welt*, février 2004, pp. 22-30

UNITED NATIONS, 1996, Indicators of sustainable development framework and methodology, New-York

- US DOT/BTS (US Department of Transportation – Bureau of Transportation Statistics), 1994, Transportation statistics annual report, Washington D.C.
- UVEK, 1998, Externe Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft, Vorstudie, GVF-Auftrag Nr. 322, Dienst für Gesamtverkehrsfragen (SG UVEK), Gelterkinden, 41 p.
- UVEK, 2001, Ziel- und Indikatoren-system nachhaltiger Verkehr UVEK (ZINK UVEK), 10 p.
- VALLET, MAURIN, LAMBERT, LAMURE, VERNET, PACHIAUDI, LABIALE, 1983, Effets du bruit de circulation automobile – Données psychologiques, physiologiques et économiques, Institut de recherche des transports, Centre d'évaluation et de recherche des nuisances et de l'énergie, Note d'information n° 28, décembre 1983, 111 p.
- VAN WEE Bert, JANSE Pieter, VAN DEN BRINK Robert, 2005, Comparing energy use and environmental performance of land transport modes, *Transport review*, vol. 25, n°1, January 2005, pp. 3-24
- VASSALLO Walter (Head transport Economics and logistics), 2005, *External costs Environmental impacts of freight transport*
- VINCKE Philippe, 1989, *L'aide Multicritère à la Décision*, Editions Ellipses, Bruxelles, 179 p.
- WALKER J.G., FIELDS J.M., 1977, Preliminary results form a survey of the effects of railway noise on nearby residents, Institute of Sound and Vibration Research, University of Southampton, ISVR Technical report No 90
- WATHERN Peter, 1988, *Environmental impact assessment: theory and practice*, London, Unwin Hyman, 332 p.
- WATSON Ann Y., BATES Richard R., KENNEDY Donald, 1988, *Air pollution, the automobile, and public health*, Health Effect Institute, Cambridge, Massachusetts, Washington DC, National Academy Press, 692 p.
- WEGENER Michael, 2001, New spatial planning models, *JAG*, vol. 3, Issue 3, 2001, pp. 224-237
- WERMEILLE, DEGELO, 2002, Le transport ferroviaire suisse des marchandises – Un exemple précurseur et innovateur pour freiner les changements climatiques, *Rail International Schienen der Welt*, février 2002, pp. 15-19
- WHITELEGG, 1993, *Transport for a sustainable future: the case for Europe*, London, UK
- WHO (Regional Office for Europe), 1999, *Health costs due to road traffic-related air pollution*, An impact assessment project of Austria, France and Switzerland, Prepared for the WHO Ministerial Conference for Environment and Health London June 1999, PM10 Population Exposure, Technical report on air pollution, published by DETEC, EDMZ, Berne, June 1999, 80 p.
- WRIGHT D.S., GREEN G.D., 1987, An environmental impact assessment methodology for major resource developments, *Journal of Environmental Management*, Vol. n° 24, 1987, pp. 1-16

ZUINDEAU Bertrand, 1996, La problématique du développement durable : les enseignements de l'approche spatiale, Communication au colloque international « Ecologie, Economie, Société », St Quentin en Yvelines, 23-25 mai 1996

ZUINDEAU Bertrand (Ed.), 2000, *Développement durable et territoire*, Collection Economie, Presses universitaires du Septentrion, 289 p.

ZUINEN N., 2004, *Indicateurs pour un développement durable : aspects méthodologiques et développements en cours*, Working paper 4-04, Bureau fédéral au plan

LPAS, 2000, *Etude de la pollution transfrontalière*, EPAT 2000, Genève – Haute Savoie, Lausanne

Annexes

247

	(journal initiative des Alpes n°58)		crises d'asthme, véhicules des polluants pouvant être mutagènes ou cancérigènes			
Suie		Combustion incomplète (moteurs diesel)	Peut avoir des effets cancérigènes			Saletés
COV Composés organiques volatils Comprend les HC (hydrocarbures), les solvants et certains composés organiques HC Hydrocarbures (y compris isopentane, méthane, pentane, tyolène, etc.)		Beaucoup d'autres sources indépendantes du trafic Combustion incomplète, carburation Interviennent dans la formation de l'ozone troposphérique (O ₃)	Certains sont cancérigènes (HAP hydrocarbures aromatiques polycycliques tels que le benzène) Précurseur de l'ozone	Accumulation dans le sol, l'alimentation, les cultures vivrières	Pollution photochimique (précurseurs de l'ozone atmosphérique) HC participent à l'effet de serre (formation d'ozone) par formation de méthane (CH ₄)	
SO₂ Dioxyde de soufre		Se forme principalement lors de la combustion de combustibles fossiles et par combinaison du soufre contenu dans ces combustibles et de l'oxygène de l'air.	Très irritant pour les muqueuses et les voies respiratoires (accentuation des gênes respiratoires, crises chez les asthmatiques, affectation de la fonction respiratoire chez les enfants), peut provoquer des oedèmes du poumon et des bronchites.	Précurseur des pluies acides Dommages aux plantes et aux écosystèmes		Dommages aux constructions
PB plomb		Principalement en milieu urbain Baisse grâce aux carburants sans plomb	Modification de la composition du sang en gênant la fabrication de l'hémoglobine A forte dose gêne le fonctionnement du système nerveux central			
Dioxines (Diox / PCDD, polychlorodibenzodioxines) Furannes (PCDF, polychlorodibenzofurannes)			S'accroissent le long de la chaîne alimentaire Contamination par ingestion humaine Peuvent entraîner la chloracné voire favoriser l'apparition de cancers	Effet cancérigène certain chez les animaux		

PM10 et NO₂ :

Deux indicateurs principaux utilisés pour mesurer les effets sur la santé du mélange de la pollution de l'air dû aux transports routiers (cf. étude tripartite)

Annexe 2 : Annexe 7 de l'OPair (OPair 1985)

Protection de l'air

814.318.142.1*Annexe 7⁵⁵*
(art. 2, al. 5)**Valeurs limites d'immission**

Substance	Valeur limite d'immission	Définition statistique
Anhydride sulfureux (SO ₂)	30 µg/m ³	Moyenne annuelle (moyenne arithmétique)
	100 µg/m ³	95% des moyennes semi-horaires d'une année ≤ 100 µg/m ³
	100 µg/m ³	Moyenne par 24 h; ne doit en aucun cas être dépassée plus d'une fois par année
Dioxyde d'azote (NO ₂)	30 µg/m ³	Moyenne annuelle (moyenne arithmétique)
	100 µg/m ³	95% des moyennes semi-horaires d'une année ≤ 100 µg/m ³
	80 µg/m ³	Moyenne par 24 h; ne doit en aucun cas être dépassée plus d'une fois par année
Monoxyde de carbone (CO)	8 mg/m ³	Moyenne par 24 h; ne doit en aucun cas être dépassée plus d'une fois par année
Ozone (O ₃)	100 µg/m ³	98% des moyennes semi-horaires d'un mois ≤ 100 µg/m ³
	120 µg/m ³	Moyenne horaire; ne doit en aucun cas être dépassée plus d'une fois par année
Poussières en suspension (PM10) ¹	20 µg/m ³	Moyenne annuelle (moyenne arithmétique)
	50 µg/m ³	Moyenne sur 24 h; ne doit pas être dépassée plus d'une fois par année

⁵⁵ Mise à jour selon le ch. II de l'O du 15 déc. 1997, en vigueur depuis le 1^{er} mars 1998 (RO 1998 223).

814.318.142.1

Protection de l'équilibre écologique

Substance	Valeur limite d'immission	Définition statistique
Plomb (Pb) dans les poussières en suspension	500 ng/m ³	Moyenne annuelle (moyenne arithmétique)
Cadmium (Cd) dans poussières en suspension	1,5 ng/m ³	Moyenne annuelle (moyenne arithmétique)
Retombées de poussières (total)	200 mg/m ² × jour	Moyenne annuelle (moyenne arithmétique)
Plomb (Pb) dans retombées de poussières	100 µg/m ² × jour	Moyenne annuelle (moyenne arithmétique)
Cadmium (Cd) dans retombées de poussières	2 µg/m ² × jour	Moyenne annuelle (moyenne arithmétique)
Zinc (Zn) dans retombées de poussières	400 µg/m ² × jour	Moyenne annuelle (moyenne arithmétique)
Thallium (Tl) dans retombées de poussières	2 µg/m ² × jour	Moyenne annuelle (moyenne arithmétique)

Remarques:

mg = milligramme; 1 mg = 0,001 g

µg = microgramme; 1 µg = 0,001 mg

ng = nanogramme; 1 ng = 0,001 µg

≤ signifie «plus petit ou égal à».

¹ Poussières fines en suspension dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 10 µm.

Annexe 3 : Annexes 3 et 4 de l'OPB (OPB 1986)

Protection contre le bruit

814.41

Annexe 3
(art. 40, al. 1)

Valeurs limites d'exposition au bruit du trafic routier**1 Champ d'application**

Les valeurs limites d'exposition selon le ch. 2 s'appliquent au bruit du trafic routier. En fait partie le bruit produit sur la route par les véhicules à moteur (bruit des véhicules à moteur) et par les trains (bruit des chemins de fer).

2 Valeurs limites d'exposition au bruit

Degré de sensibilité (art. 43)	Valeur de planification Lr en dB (A)		Valeur limite d'immission Lr en dB (A)		Valeur d'alarme Lr en dB (A)	
	Jour	Nuit	Jour	Nuit	Jour	Nuit
I	50	40	55	45	65	60
II	55	45	60	50	70	65
III	60	50	65	55	70	65
IV	65	55	70	60	75	70

3 Détermination du niveau d'évaluation**31 Principes**

¹ Le niveau d'évaluation Lr pour le bruit du trafic routier se calcule à partir des niveaux d'évaluation partiels du bruit des véhicules à moteur (Lr₁) et du bruit des chemins de fer (Lr₂):

$$L_r = 10 \cdot \log (10^{0,1 \cdot L_{r1}} + 10^{0,1 \cdot L_{r2}})$$

² Le niveau d'évaluation partiel Lr₁ est la somme du niveau moyen Leq,m, pondéré A, engendré par les véhicules à moteur, et de la correction de niveau K₁:

$$L_{r1} = Leq,m + K_1$$

³ Le niveau d'évaluation partiel Lr₂ est la somme du niveau moyen Leq,b, pondéré A, engendré par les chemins de fer, et de la correction de niveau K₂:

$$L_{r2} = Leq,b + K_2$$

⁴ Les niveaux d'évaluation partiels Lr₁ et Lr₂ sont déterminés pour le trafic moyen de jour et de nuit à partir d'une chaussée supposée sèche.

32 Trafic moyen de jour et de nuit

¹ Le trafic moyen de jour et de nuit est la moyenne annuelle du trafic horaire entre 6 et 22 heures et entre 22 et 6 heures.

² Le trafic horaire de jour (Nt) ou de nuit (Nn) des véhicules à moteur comprend deux volumes de trafic partiels qui sont Nt₁ et Nt₂ ou Nn₁ et Nn₂.

³ Les volumes de trafic partiels Nt₁ et Nn₁ des véhicules à moteur comprennent les voitures de tourisme, les voitures de livraison, les minibus, les cyclomoteurs et les trolleybus.

⁴ Les volumes de trafic partiels Nt₂ et Nn₂ des véhicules à moteur comprennent les camions, les semi-remorques, les autocars et autobus, les motocycles et les tracteurs.

⁵ Le trafic ferroviaire comprend tous les trains qui circulent régulièrement ou selon les besoins, y compris les déplacements de service.

33 Détermination du trafic moyen de jour et de nuit des véhicules à moteur

¹ Le trafic moyen de jour et de nuit (Nt, Nn) ainsi que les volumes de trafic partiels (Nt₁, Nt₂, Nn₁, Nn₂) sont déterminés comme il suit:

- a. pour les routes existantes, par comptage des véhicules;
- b. pour les routes qui seront construites ou modifiées, sur la base de prévisions du trafic.

² Si les données obtenues par les comptages des véhicules sont insuffisantes ou que l'on ne dispose pas de prévisions détaillées, les volumes de trafic Nt, Nn, Nt₁, Nt₂, Nn₁ et Nn₂ se calculent sur la base du trafic journalier moyen (TJM; véhicules en 24 h):

$$\begin{array}{llll}
 Nt & = & 0,058 \cdot TJM & Nn & = & 0,009 \cdot TJM \\
 Nt_1 & = & 0,90 \cdot Nt & Nn_1 & = & 0,95 \cdot Nn \\
 Nt_2 & = & 0,10 \cdot Nt & Nn_2 & = & 0,05 \cdot Nn
 \end{array}$$

³ Le TJM est déterminé en fonction des règles reconnues en matière de technique et de planification du trafic.

34 Détermination du trafic moyen de jour et de nuit des trains

Le trafic moyen de jour et de nuit des trains est déterminé comme il suit:

- a. pour les installations ferroviaires existantes, à partir de l'horaire et des données du trafic;
- b. pour les installations ferroviaires qui seront construites ou modifiées, sur la base de prévisions du trafic.

35 Corrections de niveau

¹ La correction de niveau K_1 pour le bruit des véhicules à moteur se calcule à partir du trafic moyen de jour et de nuit comme il suit:

K_1	=	-5	pour	$N < 31,6$
K_1	=	$10 \cdot \log(N/100)$	pour	$31,6 \leq N \leq 100$
K_1	=	0	pour	$N > 100$

N représente le trafic horaire des véhicules à moteur N_t ou N_n .

² La correction de niveau K_2 pour le bruit des chemins de fer est égale à -5. Pour les grincements fréquents et nettement perçus, la correction de niveau est égale à 0.

Annexe 4
(art. 40, al. 1)

Valeurs limites d'exposition au bruit des chemins de fer

1 Champ d'application

¹ Les valeurs limites d'exposition selon le ch. 2 s'appliquent au bruit des trains circulant sur des voies normales ou étroites.

² Le bruit produit par les trains circulant sur la route est assimilé au bruit du trafic routier (annexe 3, ch. 1).

³ Le bruit produit par les funiculaires ainsi que par les ateliers de réparation des chemins de fer, les installations de production d'énergie et les installations ferroviaires similaires est assimilé au bruit des installations de l'industrie et des arts et métiers (annexe 6, ch. 1).

2 Valeurs limites d'exposition au bruit

Degré de sensibilité (art. 43)	Valeur de planification Lr en dB (A)		Valeur limite d'immission Lr en dB (A)		Valeur d'alarme Lr en dB (A)	
	Jour	Nuit	Jour	Nuit	Jour	Nuit
I	50	40	55	45	65	60
II	55	45	60	50	70	65
III	60	50	65	55	70	65
IV	65	55	70	60	75	70

3 Détermination du niveau d'évaluation

31 Principes

¹ Le niveau d'évaluation Lr pour le bruit des chemins de fer se calcule à partir des niveaux d'évaluation partiels du bruit de la circulation des trains (Lr₁) et du bruit des manoeuvres (Lr₂):

$$Lr = 10 \cdot \log (10^{0,1 \cdot Lr_1} + 10^{0,1 \cdot Lr_2})$$

² Le niveau d'évaluation partiel Lr₁ est la somme du niveau moyen Leq,f, pondéré A, engendré par la circulation des trains, et de la correction de niveau K₁:

$$Lr_1 = Leq,f + K_1$$

³ Le niveau d'évaluation partiel L_{R2} est la somme du niveau moyen Leq,r , pondéré A, engendré par les manoeuvres, et de la correction de niveau K_2 :

$$L_{R2} = Leq,r + K_2$$

⁴ Les niveaux d'évaluation partiels L_{R1} et L_{R2} sont déterminés pour l'exploitation moyenne de jour et de nuit.

32 Exploitation moyenne de jour et de nuit

¹ L'exploitation moyenne de jour et de nuit est la moyenne annuelle de la circulation respectivement des trains et des manoeuvres entre 6 et 22 heures et entre 22 et 6 heures.

² La circulation des trains comprend tous les trains qui circulent régulièrement ou selon les besoins, y compris les déplacements de service.

³ Les manoeuvres comprennent tous les mouvements de matériel ferroviaire et les opérations d'exploitation qui servent à la dislocation ou à la formation des trains.

⁴ La circulation des trains et les manoeuvres sont déterminées comme il suit:

- a. pour les installations ferroviaires existantes, à partir de l'horaire et des données d'exploitation;
- b. pour les installations ferroviaires qui seront construites ou modifiées, sur la base de prévisions de l'exploitation.

33 Corrections de niveau

¹ La correction de niveau K_1 pour le bruit de la circulation des trains est calculée comme il suit:

$$\begin{array}{llll} K_1 & = & -15 & \text{pour } N < 7,9 \\ K_1 & = & 10 \cdot \log (N/250) & \text{pour } 7,9 \leq N \leq 79 \\ K_1 & = & -5 & \text{pour } N > 79 \end{array}$$

N représente le nombre de trains circulant de jour ou de nuit.

² La correction de niveau K_2 pour le bruit des manoeuvres prend en considération la fréquence et l'audibilité de tous les événements sonores à composantes impulsives, tonales ou qui comportent des grincements:

Audibilité de tous les événements sonores	Fréquence de tous les événements sonores		
	Rare	Occasionnelle	Fréquente
Faible	0	2	4
Nette	2	4	6
Forte	4	6	8

Annexe 4 : Système d'objectifs et d'indicateurs du DETEC (UVEK 2001)

Bereich	Oberziel	Teilziel	Zielrichtung Nachhaltigkeit (Entwurf)
Ökologie	Lokale, nationale und grenzüberschreitende Umweltbelastungen auf ein langfristig unbedenkliches Niveau senken	1. Luftschadstoffe senken	Durch den Verkehr verursachte Luftschadstoffe stellen nach wie vor eine gewichtige Umweltbelastung mit vielfältigem Schadenspotenzial (Gesundheit, Gebäudeschaden, ...) dar. Im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung muss es das Ziel sein, die Menge der emittierten Luftschadstoffe zu reduzieren. Prioritär zu berücksichtigen sind PM ₁₀ und NO _x .
		2. Lärmbelastung senken	Vom Verkehrslärm werden in erster Linie Wohn- aber auch Arbeitsplatzgebiete betroffen. Deshalb soll eine Zunahme der Lärmbelastung – besonders wenn sie über den gesetzlichen Grenzwerten liegt – nicht als nachhaltig betrachtet werden. Auch als kritisch zu betrachten ist die Verkehrslärmbelastung von Erholungsgebieten.
		3. Bodenversiegelung reduzieren	Boden ist ein knappes Gut, nach wie vor gehen in der Schweiz pro Sekunde mehr als 1 m ² Kulturland verloren. Es muss das Ziel sein, die zusätzliche Bodenversiegelung (auch im Siedlungsraum) möglichst gering zu halten und im Rahmen konkreter Projekte mögliche Kompensationsmassnahmen auch zur Verbesserung der Bodenqualität vorzusehen. Dabei ist auch die indirekt verursachte Bodenversiegelung zu berücksichtigen.
		4. Belastung von Landschaften und Lebensräumen senken	Die Vielfalt und die Intaktheit von Landschaften und Lebensräumen gilt es, möglichst zu bewahren. Als negativ zu beurteilen ist insbesondere eine weitere Zerschneidung von Landschaften und Lebensräumen.
		5. Einwirkungen auf Gewässer senken	Insbesondere der Schmutzeintrag in Gewässer (Schadstoffe etc.) sowie die Beeinträchtigung der Uferzonen von Seen und Fließgewässern (Kanalisation, Verbauung) sowie der Seegründe und Flusssohlen gilt es zu vermindern.
	Atmosphärische Umweltbelastungen senken	6. Beeinträchtigung des Klimas senken	Eine Belastung der Atmosphäre mit Treibhausgasen (insbesondere CO ₂) muss reduziert werden, bzw. darf nicht weiter ansteigen.
	Ressourcen schonen	7. Ozonschicht erhalten	Der Ausstoss ozonschichtschädigender Gase ist möglichst zu verhindern.
		8. Verbrauch nicht-erneuerbarer Energieträger senken	Der Energieverbrauch muss verringert werden bzw. müssen nicht erneuerbare durch erneuerbare Energieträger substituiert werden; dabei gilt es insbesondere auch die Ziele von EnergieSchweiz einzuhalten.
		9. Abbau natürlicher Ressourcen vermeiden	Beim Bau und Betrieb von Verkehrsanlagen sollen möglichst wenig neue natürliche Ressourcen verbraucht werden. Dabei soll insbesondere auch der Knappheit bestimmter Rohstoffe (insbesondere Kies), die beispielsweise durch den Bau einer Anlage benötigt werden, Rechnung getragen werden.
Bereich	Oberziel	Teilziel	Zielrichtung Nachhaltigkeit (Entwurf)
Wirtschaft	Gutes Verhältnis von direkten Kosten und Nutzen schaffen	10. Direkte Kosten des Vorhabens minimieren (Jahreskosten)	Die Kosten von Konzepten, Massnahmen und Projekten sollen möglichst tief gehalten werden, dabei sollen sowohl Realisierungs- und Betriebs- bzw. Unterhaltskosten berücksichtigt werden.
		11. Direkte Nutzen des Vorhabens maximieren (Jahresnutzen)	Hier geht es darum, die Veränderungen der individuellen Transportkosten, der Reisezeitersparnisse, der Zuverlässigkeit und des Komforts durch das Vorhaben zu erfassen und zu beurteilen.
		12. Vorhaben optimal umsetzen	Die Realisierungszeit für ein Vorhaben sollte möglichst gering sein, dabei sollten Konflikte und Risiken möglichst vermieden werden. Oft wird es auch erleichternd sein, wenn ein Vorhaben etappiert werden kann bzw. die Flexibilität bei der Umsetzung möglichst hoch ist.
	Indirekte wirtschaftliche Effekte optimieren	13. Erreichbarkeit als Teil der Standortgunst verbessern	Eine Vorhaben sollte die Erreichbarkeit von möglichst vielen Standorten verbessern.
		14. Schaffung und Erhalt der räumlichen Voraussetzungen für die Wirtschaft (Städte und Agglomerationen als Arbeitsstandort stärken)	Generell sollten die Effekte von Vorhaben in den urbanen Räumen zu einer Konzentration der Siedlungsentwicklung beitragen. Dazu gehören u.a. die Erneuerung und Stärkung der Städte, ein vernetztes Stadtesystem Schweiz und die Einbindung der Schweiz in Europa. Weitere Angebotsverbesserungen am Siedlungsrand, auf der „grünen Wiese“, sind in Zusammenarbeit mit den verantwortlichen Stellen nach Möglichkeit zu vermeiden.
		15. Unterstützung einer regional ausgeglichenen wirtschaftlichen Entwicklung	Die Effekte von Vorhaben sollten sich nicht einseitig auf bestimmte Räume oder Wirtschaftszweige auswirken. Regional gilt es insbesondere zu beachten, dass noch lebensfähige, periphere Räume von Vorhaben profitieren können; dort soll das Schwergewicht wiederum auf die (ländlichen) Zentren gelegt werden (Dezentrale Konzentration).
		16. Know-how Gewinn realisieren	Ein Vorhaben wird dann als positiv beurteilt, wenn aus seiner Planung und Umsetzung sowie aus dem Betrieb ein Know-how Gewinn für die Volkswirtschaft resultiert.
	Eigenwirtschaftlichkeit erreichen	17. Eigenwirtschaftlichkeit erreichen	Ziel sollte es sein, dass die Nutzniesser eines Vorhabens die von ihnen verursachten betriebs- und volkswirtschaftlichen Kosten zu einem möglichst hohen Grad selber übernehmen (unter Berücksichtigung der externen Kosten).

Bereich	Oberziel	Teilziel	Zielrichtung Nachhaltigkeit (Entwurf)
Gesellschaft	Grundversorgung sicherstellen	18. Landesweite Grundversorgung sicherstellen	Ein Mindestangebot für die Versorgung mit Infrastruktureinrichtungen und Dienstleistungen sollte gewährleistet sein. Eine Verminderung der Angebotsqualität im Vergleich zum heutigen Standard ist in der Regel zu vermeiden.
		19. Rücksicht auf Menschen mit einem erschwerten Zugang zum Verkehr nehmen und Situation der Fussgänger und Velofahrenden verbessern	Besondere Rücksicht ist auf das unterschiedliche Verhalten und die Mobilitätsbedürfnisse verschiedener sozialer und gesellschaftlicher Gruppen zu nehmen. Keine Gruppe sollte auf Kosten der anderen übermässig profitieren bzw. belastet werden. Unter anderem soll die Zugänglichkeit für Fussgänger, Velofahrende und Menschen mit einem erschwerten Zugang zum Verkehr verbessert werden.
	Gesellschaftliche Solidarität fördern	20. Gesundheit der Menschen schützen	Die Zahl der Unfallopfer und die Zahl der durch den Verkehr in ihrer Gesundheit beeinträchtigten Menschen soll verringert werden.
		21. Unabhängigkeit, Individualität, Selbstverantwortung erhalten und fördern	Der Anspruch einer freiheitlichen Gesellschaft ist es, dass jeder Akteur für seine Tätigkeiten über ein möglichst grosses Mass an Handlungsspielraum verfügt, ohne dass Dritte darunter leiden müssen.
		22. Sozialverträgliches Verhalten der beteiligten Partner	Alle an einem Projekt beteiligten Akteure müssen sicherstellen können, dass sie die durch die Sozial- und Arbeitsgesetzgebung festgelegten Spielregeln einhalten. Grundsätzlich sollte auch gewährleistet sein, dass sich die Ungleichheiten innerhalb der Gesellschaft durch das Vorhaben nicht akzentuieren.
		23. Beitrag zur Förderung des Erhalts und der Erneuerung wohnlicher Siedlungen in den urbanen Räumen und Zentren des ländlichen Raums	Bei der Verwirklichung des Vorhabens soll gewährleistet sein, dass die bedürfnisgerechte Wohnqualität insbesondere in den Zentren gesteigert und eine flächenmässige Ausdehnung der Agglomerationen verhindert werden kann.
		24. Kosten und Nutzen fair verteilen	Während davon auszugehen ist, dass vom Nutzen eines Vorhabens in erster Linie die tatsächlichen Nutzer profitieren, ist anzustreben, dass diese auch die anfallenden Kosten tragen. Insbesondere gilt es zu vermeiden, dass Kosten auf andere Bevölkerungsgruppen, Regionen oder zukünftige Generationen abgewälzt werden.
	Akzeptanz, Partizipation und Koordination sicherstellen	25. Den betroffenen Akteuren angemessene Mitwirkungsmöglichkeiten gewähren	Hier werden diejenigen Massnahmen zum Einbezug der betroffenen Akteure oder spezifischer Gruppen beurteilt, die zusätzlich zu den gesetzlich vorgeschriebenen Mitwirkungsmöglichkeiten beispielsweise im Rahmen der Richtplanung oder der Nutzungsplanung vorgenommen werden.

Annexe 5 : Données disponibles pour le « segment alpin »

DONNEES GEOGRAPHIQUES ET DONNEES DE TRAFIC DISPONIBLES POUR LE SEGMENT ALPIN															
PRODUIT	CONTENU	MODE	ECHELLE D'UTILISATION	VERSION	FREQUENCE DE MISE A JOUR	RESOLUTION (raster)	PRECISION	SYSTEME DE PROJECTION	FORMAT D'ECHANGE	ACQUISITION DES DONNEES	FOURNISSEUR	PRIX ET CONDITIONS D'UTILISATION	COUVERTURE SPATIALE	COMMENTAIRES	CONTACT / ADRESSE
SUISSE															
CARTES PIXEL (CP)	couche de la situation (noir); couche de l'hydrographie (bleu); couche des surfaces boisées (espaces verts); couche des contours des forêts (vert).	raster	25000 50000 100000 200000 500000		cf. document <i>Etat de la mise à jour</i> - Swisstopo http://www.swisstopo.ch/data/maps/Standard.pdf	standard de 20 lignes/mm ou 508 dpi - CP25 10 lignes/mm 254 dpi (moins cher) - CP200				scannage cartes nationales (couches d'information structurées par couleur)	Swisstopo				
VECTOR 25	9 couches thématiques contenant plus de 7 millions d'objets réseau routier (1330000 objets); réseau ferroviaire (20000 objets); bâtiments (520000 objets); réseau hydrographique; objets isolés; arbres et haies; occupation du sol (surfaces primaires et aménagées)	vecteur	25000		http://www.swisstopo.ch/fr/digital/VECTOR25/strstand.htm mise à jour peut être différente selon les couches		planimétrique de 3 à 8 m (correspondant à la précision de la carte nationale 1:25000)	réseau de coordonnées suisses "CH-1903", basé sur l'ellipsoïde de Bessel - projection de type cylindrique conforme à axe oblique		basé sur le contenu et la géométrie de la carte nationale 1:25000	Swisstopo	licence / cf. liste des prix http://www.swisstopo.ch/data/geodata/doc/VECTOR25_price_F.pdf	couvre: - toute la Suisse; - une partie des pays limitrophes. http://www.swisstopo.ch/fr/digital/VECTOR25/INDEX.htm		http://www.swisstopo.ch/fr/digital/landschaft.htm Office fédéral de topographie Seftigenstrasse 264 3084 Wabern Tél.: +41 (0)31 963 21 11 geodata@LT.admin.ch (géodonnées)
VECTOR 200	6 couches thématiques contenant plus de 415000 objets réseau routier (78000 objets); réseau ferroviaire; bâtiments (231000 objets: rares sont les bâtiments de la CN200 correspondant effectivement à un seul bâtiment, du fait de la forte généralisation imputable à cette échelle (cette couche ne peut servir à l'identification de bâtiments)) réseau hydrographique; objets isolés; frontières; occupation du sol (surfaces primaires).	vecteur	200000				planimétrique de 20 à 60 m (correspondant à la précision de report sur la carte nationale)	réseau de coordonnées suisses "CH-1903", basé sur l'ellipsoïde de Bessel - projection de type cylindrique conforme à axe oblique		basé sur le contenu et la géométrie de la carte nationale 1:200000	Swisstopo	licence / cf. liste des prix http://www.swisstopo.ch/data/geodata/doc/VECTOR200_price_F.pdf	couvre: - toute la Suisse; - une partie des pays limitrophes. http://www.swisstopo.ch/fr/digital/VECTOR200/INDEX.htm		http://www.swisstopo.ch/fr/digital/landschaft.htm Office fédéral de topographie Seftigenstrasse 264 3084 Wabern Tél.: +41 (0)31 963 21 11 geodata@LT.admin.ch (géodonnées)
BASE DE DONNEES DES INFRASTRUCTURES DES CFF	nœuds, lignes, itinéraires, réseau, etc. fichiers .dbf ou .xls														
GG25 - Digitale Gemeindegrenzen Schweiz	Contient la frontière nationale et les limites cantonales, de district et communales (2900 communes) de la Suisse GG25 se compose des deux couches topologiques "Surface communale" (type surface) et "Limite communale" (type ligne) et forme un réseau de surfaces exempt de tout recouvrement. 2900 objets	vecteur	25000	Edition (version) annuelle début avril	mise à jour annuelle		planimétrique de 3 à 8 m (correspondant à la précision de la carte nationale)	projection cylindrique conforme à axe oblique (comme pour les cartes analogues et les cartes pixel)	ArcInfo e00 ArcView Shapefile INTERLIS 1 AutoCAD DXF	les données ont initialement été saisies sur la base de la carte nationale au 1:25000, mais sont, depuis lors, mises à jour avec les bases de la mensuration officielles	Swisstopo	1ère année, 0.40 par 10 km2, 2ème année émoulement annuel de 0.30 par 10 km2 / rabais de 50% pour une utilisation dans la recherche et l'enseignement tout inclus 110.-	couvre la Suisse http://www.swisstopo.ch/fr/digital/GG25/INDEX.htm		http://www.swisstopo.ch/fr/digital/GG25/INDEX.htm Office fédéral de topographie Seftigenstrasse 264 3084 Wabern Tél.: +41 (0)31 963 21 11 geodata@LT.admin.ch (géodonnées)
GWR - RegBL Registre fédéral des bâtiments et des logements	comprend tous les bâtiments dans lesquels il y a un logement Au niveau du bâtiment, le Registre contient des indications concernant les groupes de caractères suivants: Groupe de caractères « Identification du bâtiment » (le même que pour le recensement) Groupe de caractères « Adresse du bâtiment » (+ par rapport au recensement) Groupe de caractères « Géocodage » Groupe de caractères « Données spécifiques du bâtiment » Au niveau du logement, le Registre fédéral des bâtiments et des logements contient des indications concernant les groupes de caractères suivants: Groupe de caractères « Identification du logement » Groupe de caractères « Données spécifiques du logement »	vecteur		dès 1990	mise à jour permanente l'essentiel des données mises à jour concernent les mutations dues à des nouvelles constructions, à des démolitions, à des transformations soumises à autorisation ou à des rénovations mis à jour sur la base des données actuelles concernant les procédures d'autorisation de construire et de réception des ouvrages		métrique			données fournies par les communes ou déduites des données de la construction (coordination avec la statistique des constructions) le recensement de la population peut servir pour compléter les informations relatives aux coordonnées des bâtiments	OFS	contrat pour une durée limitée gratuit pour l'EPFL si on donne les résultats et un exemplaire du travail	toute la Suisse (dès juin 2004)	Les données du registre concernant les identificateurs fédéraux de bâtiment et de logement ainsi que la commune concernée et l'adresse du bâtiment sont mises à la disposition de services publics et privés sans restriction.	http://www.housing-stat.ch/Home_Page_fz.htm baustatistik@bfs.admin.ch Téléphone : 0800 866 600 cf. Fritz GEBHART Section ???? - OFS Espace de l'Europe 10 2010 Neuchâtel
GEOPOST	base de données adresse de la Poste Suisse										Téléatlas la Poste suisse				
UTILISATION SIMPLIFIEE DU SOL DE LA SUISSE	élaboré d'après la statistique de la superficie les données ponctuelles ont été transformées en données de type grilles puis généralisées en trois étapes (trois niveaux de généralisation: BN85HG1, BN85HG2, BN85HG3) trois fichiers de fonds de carte au niveau de précision décroissant ont été produits grâce à des algorithmes inspirés des méthodes du traitement numérique des images ces fichiers regroupent 17 modes d'utilisation au lieu des 69 catégories de départ: forêt dense, forêt clairsemée, forêt buissonnante, prairies et terres arables, prés et pâturages locaux embroussaillés, viticulture, arboriculture fruitière et horticulture, maraîchage et jardins, alpages pâturés, lacs et cours d'eau, végétation improductive, surfaces sans végétation, aires de bâtiments (sans aires industrielles), aires industrielles, espaces verts et lieux de détente, surfaces d'infrastructure spéciale, surfaces de transport	raster		1979/85	mise à jour: statistique de la superficie 1992/97	grilles aux cellules de 100m (hectare)				cf. <i>L'utilisation du sol en Suisse, Statistique de la superficie 1979/85, Catalogue des catégories d'utilisation</i> , OFS, Bern, 1993, 191p. + mises à jour cf. <i>Manuel de l'utilisateur GEOSTAT</i> partie: H.3.1	GEOSTAT - OFS Section de l'utilisation du territoire	contrat pour une durée limitée gratuit pour l'EPFL si on donne les résultats et un exemplaire du travail	couvre: -toute la Suisse; -le Lichtenstein (s'adresser directement au Lichtenstein)		cf. M. Anton BEYELER Statistique de la superficie - OFS Espace de l'Europe 10 – 2010 Neuchâtel Anton.Beyerler@bfs.admin.ch Tél.: 032 713 61 61 cf. <i>Manuel de l'utilisateur GEOSTAT</i> partie: H.3.1 mention des sources: Statistique de la superficie 1979/85, OFS GEOSTAT
MNT 25 modèle matriciel	modèle de terrain ou matrice d'altitude qui reproduit la forme brute de la surface terrestre sans couverture végétale ni bâti	raster	25000	produit entre 1984 et 1996 région des glaciers 2000/2001		trame de 25 m de largeur de maille	la précision des informations altimétriques du MNT25 est de 1,5 m sur le Plateau, 2 m dans les Préalpes et le Jura et 3 m dans les Alpes	datum géodésique suisse CH-1903	MMBL/MMBL; ArcInfo ASCII Grid format, DXF POLYMESH/POLYFACE/POINTS; VRML	numérisation des informations altimétriques de la Carte nationale 1 : 25000 et 1 : 50000; photographies aériennes le modèle matriciel est obtenu par interpolation à partir du modèle de base	Swisstopo	www.swisstopo.ch/fr/digital/INDEX.htm	Suisse (recouvre toute la surface de la Carte nationale 1 : 25000 et celle de la Carte nationale 1 : 50000 à l'ouest, au nord et à l'est)	cf. SMSSTOPO, 2004, MNT25 <i>Le modèle numérique du terrain de la Suisse</i> , 15 p.	geodata@swisstopo.ch http://www.swisstopo.ch/fr/shop/index
COMPTAGE SUISSE DE LA CIRCULATION ROUTIERE 2000	données pour chaque poste de comptage: position géographique, trafic moyen selon le type de véhicule et l'immatriculation trafic journalier moyen (TJM), trafic les jours ouvrables (TJMO), trafic les dimanches et jours fériés (TJMD) la banque de données se compose de deux tableaux: ZAEHLSTELLEN (postes de comptage), DATENSSVZ00 (données de trafic)	vecteur		2000	tous les cinq ans				MS-ACCESS	deux sources de données: pointages manuels effectués aux postes de comptage suisses de la circulation routière, compteurs automatiques (postes de comptage permanents) véhicules enregistrés pendant 5 jours (3 jours ouvrables et 2 dimanches) et pendant 6 heures les jours ouvrables (7h-9h, 11h-12h, 14h-15h, 17h-19h) et pendant 4 heures les dimanches (matin)	OFS, OFROU (SIGMAPLAN)	gratuit pour l'EPFL	Suisse		OFROU

HORAIRES GRAPHIQUES DES CFF	les horaires graphiques présentent les sillons des différents types de trains			2002-2003	chaque année						CFF	disponible au LITEP	Suisse	à partir des horaires graphiques, il est possible d'estimer le nombre de trains marchandises et le nombre de trains voyageurs circulant dans un sens et dans l'autre la nuit (22h-6h) et le jour (6h-22h) durant les jours ouvrables et ceci sur les différents tronçons	CFF
RECENSEMENT GENERAL DE LA POPULATION (RGP)	densité de la population autres informations: âge, nombre de déplacement domicile - travail/école, temps de parcours, mode de transport utilisé, etc.	raster		2000	tous les dix ans depuis 1850	densité par hectare	métrique (problème de confidentialité) l'identifiant du bâtiment figurant dans le recensement est le même que celui figurant dans le GNR et permet donc de rattacher les personnes recensées aux bâtiments			les communes transmettent le fichier du registre communal les questionnaires sont envoyés aux personnes inscrites dans le registre communal (migrants inclus) toute personne doit répondre à un questionnaire (même un nouveau né) l'exhaustivité est de 100%	GEOSTAT - OFS	contrat pour une durée limitée gratuit pour l'EPFL si on donne les résultats et un exemplaire du travail	couvre toute la Suisse		http://www.statistik.admin.ch/stat_ch/ber00/vz/as/vz/as01-01.htm cf. Frédéric INALBON Section recensement - OFS Espace de l'Europe 10 2010 Neuchâtel Frederic.InAlbon@bfs.admin.ch Tél.:032 713 67 18
FRANCE															
ROUTE 500	500000 km de routes du réseau classé (dont autoroutes); éléments d'habillage	vecteur							EDIGeO, shapefile, MIF/MID, ArcInfo export, GeoConcept export		IGN				IGN 136 bis, rue de la Grenelle 75700 Paris 07 SP responsables commerciaux: ar-idf@ign.fr www.ign.fr
GEOFLA	description de l'ensemble des unités administratives de France métropolitaine et DOM communes, cantons, arrondissements, départements, régions														
BD ADRESSE	Description des noms de voies; localisation des adresses postales.										IGN		En cours de définition dans le cadre du groupe de travail "Adresse" du Conseil National de l'Information Géographique (CNIG). Disponible partout en 2007.		
SCAN	fond cartographique, ce qui figure sur les cartes topographiques classiques (sans doute comme CP suisse)	raster	25000 50000 125000 (SCAN Départemental) 1000000			100 µm à l'échelle de la cartographie		Lambert II étendu et Lambert 93	format TIFF (fichiers de géoréférencement pour MapInfo, ArcView, GeoConcept)	images numériques géoréférencées issues du scannage des cartes IGN (SCAN Départemental: issu du fichier vecteur des cartes départementales)	IGN	prix très abordables		compatible avec les bases de données vecteur de l'IGN: ROUTE 500, BD CARTO	IGN 136 bis, rue de la Grenelle 75700 Paris 07 SP responsables commerciaux: ar-idf@ign.fr www.ign.fr
BD CARTO	réseau routier et franchissements, réseau ferré, hydrographie, équipements, habillage, toponymes, unités administratives.	vecteur	50000				décamétrique	Lambert II étendu et Lambert 93	EDIGeO, shapefile, MIF/MID, ArcInfo export, GeoConcept export, DXF	issue de la vectorisation des cartes au 1:50000 de l'IGN France	IGN				IGN 136 bis, rue de la Grenelle 75700 Paris 07 SP responsables commerciaux: ar-idf@ign.fr www.ign.fr
BD ALTI	relief / forme du terrain à plusieurs échelles; produit dérivé: calcul de pente, profil en long	vecteur	du 50000 au 1000000			pas de 50 m à 1000 m	décamétrique	Lambert zone, Lambert II étendu ou Lambert 93, WGS 84, coordonnées géographiques	DIG, GRID d'ArcInfo, liste XYZ ASCII		IGN			compatibilité avec BD CARTO, OCS raster, GEOROUTE, BD CARTHAGE, SCAN 50, SCAN départemental, produit dérivé: calcul de pente, profil en long	IGN 136 bis, rue de la Grenelle 75700 Paris 07 SP responsables commerciaux: ar-idf@ign.fr www.ign.fr
BD TOPO	voies de communication (routes), voies ferrées (réseau électrique de transport), bâtiments, hydrographie, végétation, MNT, équipements publics, transport d'énergie, toponymie, limites administratives	vecteur	10000				métrique	Lambert zone, Lambert II étendu ou Lambert 93	EDIGeO, shapefile 2D, shapefile 3D, DXF 2D, DXF 3D, MIF/MID, GeoConcept export	description 3D du territoire issue de numérisation photogrammétrique et modèle numérique de terrain	IGN		disponible pour la Savoie, l'An et l'Isère (en 2006 pour la Hte Savoie)	interopérabilité avec les autres composants du RGE: BD ORTHO, BD PARCELLAIRE, BD ADRESSE	IGN 136 bis, rue de la Grenelle 75700 Paris 07 SP responsables commerciaux: ar-idf@ign.fr www.ign.fr
DONNEES TRAFICS VOYAGEURS ET MARCHANDISES	Cf. Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement (service économique et statistique) Cf. OEST (Observatoire Economique et Statistique des Transports / estimation des trafics de transit routier à travers la France à partir des statistiques douanières fournies par la CEMT) Cf. Base de données SITRAM (Système d'Information sur le TRANsport de Marchandises) Cf. SNCF (Société Nationale des Chemins de Fer)														
RECENSEMENT GENERAL DE LA POPULATION	population par commune							Lambert II étendu, Lambert 93.	EDIGeO, ARC/INFO export, MIF/MID, SHAPEFILE, GeoConcept export.		INSEE	données téléchargeables depuis internet			
AUTRICHE															
KARTOGRAPHISCHES MODELL - RASTER 50	Der Kartenninhalt liegt getrennt nach Druckfarben in Rasterdateien. Gewässer, Höhenschichtlinien, Nationalparkgrenzen, Wald, Gletschermaske	raster	50000		laufende und periodische (6-8 Jahre) Aktualisierung	Pixelgröße: 100L/cm ou 254 dpi ou 5,0 m in Natur; 200L/cm ou 508 dpi ou 2,5 m in Natur; 400L/cm ou 1016 dpi ou 1,25 m in Natur (Auslösung wenn gescannt).	Die Inhalt des KM50-R ist für den Masstab 1:50000 generalisiert. Die Zeichengenaugkeit beträgt 0.1 mm, das entspricht 5 m in der Natur. Minimalabstand zwischen zwei Signaturen beträgt 0.2 mm, das entspricht 10 m in der Natur.	Die Georeferenzierung erfolgt im System der Österreichischen Landeskoordinatensystem (MGI) in einer Gauss-Krüger-Projektion. Weitere Georeferenzierungsmöglichkeiten: ASCII, ArcInfo und AUTOCAD Datei, WGS84, UTM-Projektion	Intergraph-Format Kann in den verschiedensten Datenformaten auf allen gängigen Datenträgern abgegeben werden RLE, TIFF, groupe 4, TIFF uncompressed, TIFF 8 bit Farbe, COT, TIFF	Pixelbild der Österreichischen Karte 1:50000 (ÖK 50) - Farbaufbau der ÖK 50 strukturiert - der Kartenninhalt liegt getrennt nach Druckfarben in Rasterdateien vor.	BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen	cf. doc			kundenservice@bev.gv.at http://www.austrianmap.at
KARTOGRAPHISCHES MODELL - RASTER 200	Eisenbahn, Gewässerslinien, Nationalparkgrenzen, Autobahn, Wald	raster	200000		laufende und periodische Aktualisierung 3-4 Jahren aktualisiert	Pixelgröße: 100L/cm ou 254 dpi ou 20 m in Natur; 200L/cm ou 508 dpi ou 10 m in Natur; 400L/cm ou 1016 dpi ou 5 m in Natur (Auslösung wenn gescannt). Die Kacheln (carreaux) haben eine Ausdehnung von je 100 km mal 100 km.	Die Inhalt des KM200-R ist für den Masstab 1:200000 aus dem Masstab 1:50000 generalisiert. Die Zeichengenaugkeit beträgt 0.1 mm, das entspricht 20 m in der Natur. Minimalabstand zwischen zwei Signaturen beträgt 0.2 mm, das entspricht 40 m in der Natur.	WGS84, UTM Für jede Kachel existiert ein TIFF-World-File (Datei*.tif)	Intergraph-Format Kann in den verschiedensten Datenformaten auf allen gängigen Datenträgern abgegeben werden RLE, TIFF, groupe 4, TIFF uncompressed, TIFF 8 bit Farbe, COT, TIFF	Pixelbild der Österreichischen Karte 1:200000 (ÖK 200) - Farbaufbau der ÖK 200 strukturiert - der Kartenninhalt liegt getrennt nach Druckfarben in Rasterdateien vor.	BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen	cf. doc			kundenservice@bev.gv.at http://www.austrianmap.at
KARTOGRAPHISCHES MODELL - RASTER 500	Gewässer, Gletscher, Strassenaufdruck, Waldflächen	raster	500000		laufend aktualisiert	Pixelgröße: 100L/cm ou 254 dpi ou 50 m in Natur; 200L/cm ou 508 dpi ou 25 m in Natur; 400L/cm ou 1016 dpi ou 12,5 m in Natur.	Die Inhalt des KM500-R ist für den Masstab 1:500000 aus dem Masstab 1:200000 generalisiert. Die Zeichengenaugkeit beträgt 0.1 mm, das entspricht 50 m in der Natur. Minimalabstand zwischen zwei Signaturen beträgt 0.2 mm, das entspricht 100 m in der Natur.	MGI basierenden Lambert'scher Projektion. Durch die Angabe der Landeskoordinaten eines Pixels und die Auflösung kann jedes Pixel koordinatenmässig festgelegt werden.	Intergraph-Format Kann in den verschiedensten Datenformaten auf allen gängigen Datenträgern abgegeben werden RLE, TIFF, groupe 4, TIFF uncompressed, TIFF 8 bit Farbe, COT, TIFF	Pixelbild der Österreichischen Karte 1:500000 (ÖK 500) - Farbaufbau der ÖK 500 strukturiert - der Kartenninhalt liegt getrennt nach Druckfarben in Rasterdateien vor.	BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen	cf. doc			kundenservice@bev.gv.at http://www.austrianmap.at
KARTOGRAPHISCHES MODELL - VEKTOR KM 50V	Inhalt des Kartographischen Modells - raster Nicht flächendeckend für das gesamte Bundesgebiet (Höhenschichtlinien - 40%) Für die Wald (Waldgrenzen): flächendeckend für das gesamte Bundesgebiet	vecteur (Vektorform)	50000		variables selon les thèmes		Die Genauigkeit des KM50V entspricht der Genauigkeit des KM50-R.	Die Georeferenzierung erfolgt im System der Österreichischen Landeskoordinatensystem (MGI) in einer Gauss-Krüger- und/oder Lambert'sche-Projektion.		umfasst den Inhalt des Kartographischen Modells - raster (KM50-R) in Vektorform	BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen	cf. doc	disponibilité variable selon les thèmes		kundenservice@bev.gv.at http://www.austrianmap.at
KARTOGRAPHISCHES MODELL - VEKTOR KM 250V	Inhalt des Kartographischen Modells - raster Informationsebene: Verkehr, Gewässer, Höhen, Siedlung, Vegetation, Felsen, Gletscher, Luftfahrthindernisse (cf.doc)	vecteur	250000		synchro zur laufenden und flächendeckenden Aktualisierung des KM200-R		Die Genauigkeit des KM250V entspricht dem Generalisierungsgrad 1:250000. Die Zeichengenaugkeit beträgt 0.1 mm, das entspricht 25 m in der Natur. Minimalabstand zwischen zwei Signaturen beträgt 0.2 mm, das entspricht 50 m in der Natur.	Die Georeferenzierung des KM250-V erfolgt in UTM-Projektion (basierend auf WGS84).		umfasst den Inhalt des Kartographischen Modells - raster (KM200-R) in Vektorform	BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen	cf. doc			kundenservice@bev.gv.at http://www.austrianmap.at

KARTOGRAPHISCHES MODELL -VEKTOR KM500V	Inhalt des Kartographischen Modells - raster Objektbereiche: Verkehr, Gewässer, Siedlungen (Signaturen und geographische Namen), Grenzen und Namen der Politischen Bezirke und der Politischen Gemeinden	vecteur	500000		in gleichen Intervallen mit der ÖK500 aktualisiert		Die Genauigkeit des KM500V entspricht dem Generalisierungsgrad 1:500000. Die Zeichengenauigkeit beträgt 0.1 mm, das entspricht 50 m in der Natur. Minimalabstand zwischen zwei Signaturen beträgt 0.2 mm, das entspricht 100 m in der Natur.	Die Georeferenzierung des KM500-V erfolgt in Lambert'sche-Projektion (basierend auf dem Militär-Geographischen Institut (MGI)).		umfasst den Inhalt des Kartographischen Modells - raster (KM500-R) in Vektorform	BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen	cf. doc			kundenservice@bev.gv.at http://www.austrianmap.at
DIGITALES GELÄNDEHÖHENMODELL - DGM	die Erdoberfläche (den natürlichen Boden ohne Bewuchs) in Form eines Höhenrasters; Geländestrukturen wie Bruchlinien, Formelinien und markante Einzelpunkte ergänzen den regelmässigen Raster4 und liefern detaillierte Informationen über die Topographie Österreichs.	raster	30000 (Derzeit 15000)		Rasterweite: 10 / 25 / 50 / 100 / 200 / 500 m Gebietabgrenzung		Die Höhengengenauigkeit richtet sich stark nach der Geländeform, der Bodenbedeckung und der Erfassungsmethode. ± 1 m à ± 25 m	Die Georeferenzierung erfolgt im System der Österreichischen Landeskoordinatensystem (MGI) in einer Gauss-Krüger-Projektion. Die Umrechnung auf andere Projektionen ist grundsätzlich möglich.		Die Erfassung der Daten erfolgt durch eine photogrammetrische Auswertung (utlis.) Als Ausgangsmaterial dienen Luftbilder im Format 23 cm x 23 cm, welche mit speziellen Kameras aus Flugzeugen aufgenommen werden. Die erste flächendeckende Erfassung erfolgte aus schwarz- weiss Bildern mit einem mittleren Massstab von 1:30000. Derzeit erfolgt die Verfeinerung der Geländehöhenaten aus Farbbildern mit einem mittleren Bildmassstab von 1:15000.	BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen	cf. doc		Abgabemedien: Diskette3,5", CD Rom	kundenservice@bev.gv.at http://www.austrianmap.at
DIGITALES LANDSCHAFTSMODELL (DLM)	Objekte und Informationen der Erdoberfläche (7) Objektbereiche: Verkehr (réseaux routier et ferroviaire géoréférencés), Siedlung, Raumgliederung, Gewässer, Bodenbedeckung, Gelände, Namen	vecteur						verschiedenen Referenzsystemen : MGI (Auriche), WGS 84 (monde) verschiedenen Projektionen: Lambert, UTM			BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen	cf. doc		Objektbereiche sind weiter untergliedert in Objektgruppen und Objektkarten. Die Gesamtstruktur ist in einem Objektkartenkatalog festlegt.	kundenservice@bev.gv.at http://www.austrianmap.at
	Objektbereiche: Verkehr - Objektgruppe Strassen - Objektgruppe Bahnen	vecteur	15000-30000		route: laufend rail: 7-jährigen Zyklus, wesentliche Veränderungen werden aber laufend aktualisiert		environ 3 m grundsätzlich massstabfrei Die geometrische Genauigkeit der Informationen ist aber abhängig von der Genauigkeit der Erfassungsgrundlage und -methode.	Die Georeferenzierung erfolgt im System der Österreichischen Landeskoordinatensystem (MGI) in einer Gauss-Krüger-Projektion. Die Umrechnung auf andere Projektionen ist grundsätzlich möglich.	Grafik im DGN Format, Sach-Attribute im ASCII Format / Grafik samt Attributinhalt im ASCII Format / Grafik ohne Attribute als DXF File / SHAPE File oder ArcInfo e00 Format	Verfahren für die Datenerfassung sind digitale photogrammetrische Auswertung (utlis.) von Luftbildern (Massstab: ca. 1:15000 oder 1:30000), Digitalisierung von digitalen Orthophotos (max 1 m Auflösung), Übernahme von Lagekoordinaten aus der Digitalen-Katastral-Mappe (DKM), sowie Global Position System-Messungen (GPS).	BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen	cf. doc		Abgabemedien: Diskette, CD Rom, email	kundenservice@bev.gv.at http://www.austrianmap.at
	Objektbereiche: Siedlung écoles, hôpitaux, industries, camping, golf, etc.	vecteur			laufend aktualisiert		environ 3 m grundsätzlich massstabfrei Die geometrische Genauigkeit der Informationen ist aber abhängig von der Genauigkeit der Erfassungsgrundlage und -methode.	Die Georeferenzierung erfolgt im System der Österreichischen Landeskoordinatensystem (MGI) in einer Gauss-Krüger-Projektion. Die Umrechnung auf andere Projektionen ist grundsätzlich möglich.	Access Datenbank oder ASCII Datei	Verfahren für die Datenerfassung sind digitale photogrammetrische Auswertung (utlis.) von Luftbildern (Massstab: ca. 1:15000 oder 1:30000), Digitalisierung von digitalen Orthophotos (max 1 m Auflösung), Übernahme von Lagekoordinaten aus der Digitalen-Katastral-Mappe (DKM), sowie Global Position System-Messungen (GPS).	BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen	cf. doc		Abgabemedien: Diskette, CD Rom	kundenservice@bev.gv.at http://www.austrianmap.at
	Objektbereiche: Raumgliederung / Gemeindegrenzen limites communales	vecteur	50000		laufend aktualisiert		Die Genauigkeit entspricht der Digitalisierengenauigkeit im Massstab 1:50001	Die Georeferenzierung erfolgt im System der Österreichischen Landesvermessung in einer Gauss-Krüger-Projektion in den Meridianstreifen M28, M31 und M34. Auf Wunsch ist eine Transformation auf einen Streifen oder eine andere Projectionsart möglich.	AutoCAD Format, DXF Format, ArcInfo Format	Die Verwaltungsgrenzen wurden aus der Übersichtskarte der Katastralgemeinde im Massstab 1:50000 digitalisiert.	BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen	cf. doc	Mit fortschreitender Verfügbarkeit der Digitalen Katastralmappe (DKM) werden die Verwaltungsgrenzen aus dieser in die Verwaltungsgrenzdatenbank übernommen.	Abgabemedien: Diskette, CD Rom	kundenservice@bev.gv.at http://www.austrianmap.at
BD ADRESSE	Die statistischen Daten auf Adressebene lokalisiert sind.													En cours de réalisation.	
AD-BAH Railway lines and railway stations of ÖBB	lignes et stations ferroviaires de l'Österreichische Bundesbahnen										WGeoGIS	dépend du nombre de licences (1=1100€)	couvre l'Autriche		http://www.oebb.at/ serviceline@pe.oebb.at cf. www.data-store.co.uk info@data-store.com
DONNEES TRAFICS VOYAGEURS ET MARCHANDISES POPULATION	Cf. WKÖ - Bundessparte Transport und Verkehr														
	population par commune										Osterreichisches statistisches zentralamt	publication et CD Rom: 30€			ursula.suster@statistik.gv.at
ITALIE															
RASTER FORMAT CARTOGRAPHY (50)	all the informative layers contained in the original cartography are present	raster	50000		100 microns			keep the reference system of the original map	ISO 8211 (with DIGEST implementation)	scanning of the cartographic types (one scanning for every sheet or information layer)	IGM - Istituto Geografico Militare		semble disponible pour les principaux axes de transport mais pas pour toute la zone d'étude italienne		
RASTER FORMAT CARTOGRAPHY (250/500/1000)	all the informative layers contained in the original cartography are present	raster	250000/500000/1000000		100 microns			keep the reference system of the original map	ISO 8211 (with DIGEST implementation)	scanning of the cartographic types (one scanning for every sheet or information layer)	IGM - Istituto Geografico Militare		pas d'information sur la disponibilité des données au 250000		
VECTOR DIGITAL CARTOGRAPHY	all the informative layers contained in the original cartography are present	vecteur	50000/250000					UTM (Universal Transverse Mercator)	ISO 8211 (with DIGEST implementation)	mostly acquired from pre-existing cartography - 1:250000 scale series 1501 and the least from photogrammetric	IGM - Istituto Geografico Militare		cover a small area in North-eastern Italy, but the covering of all national territory is programmed		
LIMITES COMMUNALES	sequence of lines and dottes (coordinates x and y)	vecteur							ArcInfo export		ISTAT - Istituto Nazionale di Statistica	les données pour toutes les communes italiennes coûte 1000€ (proportionnel au nombre de commune)	(cf. GEODEMO)		centro.servizi@istat.it
Italian Vector data - Road, Highways & Railways	réseaux routier, autoroutier et ferroviaire	vecteur									CSH	dépend du nombre de licences (1=2600€)	couvre l'Italie		cf. www.data-store.co.uk info@data-store.com
SIG of the Italian railway	réseau ferroviaire														cf. référence donnée par Antonio Musso: Mario Gollani: m.gollani@tiscalinet.it
DIGITAL ELEVATION MODEL (MATRIX)	relief	raster		1999		3 résolutions: 10 km * 10 km elements, 20 m step; 10' longitude * 6' latitude elements, 1" step; 20' longitude * 12' latitude elements, 3" step.				using altimetric data in vector format at present, they are producing digital terrain model (DTM) matrix format	IGM - Istituto Geografico Militare				
DONNEES TRAFICS VOYAGEURS ET MARCHANDISES POPULATION	Concessionnaires des autoroutes (ex.: Autostrade S.A.) Trenitalia etc.														
	population par commune								fichier excel		ISTAT - Istituto Nazionale di Statistica	GIS Product on CD Rom made by Esri Italia for Istat 100€ (only in english)	cf. site internet: http://demo.istat.it/e/bil/download.html GEODEMO		centro.servizi@istat.it
EUROPE															

EUROGLOBALMAP	Six themes (12 layers): administrative boundaries; hydrography; transport; settlements; elevation; named location (geographical names)	vecteur	1:1000000				geographical in degrees (longitude, latitude) with decimal fraction and based on the ETRS 89 spatial reference system	ArcInfo export format. Diverse formats might be available from VARs and distributors.		EUROGEOGRAPHIC S			Europe (Andorra, Austria, Belgium, Croatia, Czech Republic, Cyprus, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Great Britain, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Liechtenstein, Lithuania, Luxembourg, Moldova, Monaco, Northern Ireland, Norway, Poland, Portugal, San Marino, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, The Netherlands and The Vatican)		
GISCO database	Basic topographic data: administrative data, hydrography, altimetry, infrastructure (railway and road), support Thematic data: community support framework, environment, industrial themes, infra regional statistics, land resources, nature resources, world data INTERESSANT: for each railway segment, different attributes are available such as the type of railway, the use of the segment (distinction between railway lines that are used for transport of good only, persons only and lines that are used for transport of people and goods) - attribute RWSGUS		Road infrastructure (RD): 1:1000000 Railway infrastructure (RW): 1:1000000 pour les autres données cf. GISCO Database Manual: 1:50000 - 1:20000000		mises à jour régulières		cf. GISCO Database Manual	Europe: Lambert azimuthal equal area projection Worldwide extent: geographical co-ordinates, expressed in decimal degrees (the standard origin is where the Greenwich Prime Meridian meets the Equator)	the GISCO database is kept in an ARC/INFO environment, data exchange formats which are directly available from ARC/INFO (ARC:Export, ARC/Ungenerate and others)		copy right and source: major road/railway network + access points: IRPUD requests for GISCO data should be sent to Eurostat Data Shops.		road infrastructure: major road/railway network + access points for Pan Europe TEN road/railway network for EU 15		cf. GISCO Database Manual http://data-dist.jrc.it/eu4u/metadata/home.htm infos données par Paolo For further information on roads and railways: IRPUD, Institut für Raumplanung, Universität Dortmund, Fakultät Raumplanung, August Schmidt Strasse 6, D-44221 Dortmund, Tél.: (49)231 755 24 01
BARTHOLOMEW World Database - Roads and Railway	Roads, motorways, major railways Egalement disponibles: topographie 1:20000000 national and other parks: 1:50000000 altitude: 1:200000 landuse: 1:200000 etc.	vecteur	1:1000000 - 1:5000000		mise à jour annuelle					en 2000, ESRI (UK) Ltd s'associa à Bartholomew Mapping Solutions	dépend du nombre de licences (1=538€)	couvre le monde		http://data-dist.jrc.it/eu4u/metadata/home.htm chez NESTEAR infos données par Paolo cf. www.data-store.co.uk info@data-store.com	
AND Global Road Data	all major roads worldwide other vital geographic data: place names, postal codes, administrative boundaries (urban areas, etc.), major lakes, rivers and railways, points of interest (airports, rest areas) and cartographic features	vecteur	1:250000 pour l'Europe et l'Amérique du Nord (level 5) 1:2000000 pour le reste du monde (level 2)					AND/BNA - ARC/INFO MID/MIF - MapInfo Generate - Shape		And Products BV Scheepmakersstraat 5 3011 VH Rotterdam The Netherlands				www.and.com sales@and.com contact: arjan.spigt@and.com Tél.: +31 (0)10 895 1200	
CARTOSPHERE	réseau routier européen														
GLOBAL DISCOVERY	réseaux routier et ferroviaire	vecteur	1:1000000							EUROPA Technologies	dépend du nombre de licences (1=2495€)	couvre le monde		cf. www.data-store.co.uk info@data-store.com	
AA European Datasets	réseaux routier et ferroviaire motorway service stations, etc.	vecteur	1:1000000		mise à jour annuelle					KINGSWOOD Map Mechanics	dépend du nombre de licences (1=1500€)	couvre l'Europe		cf. www.data-store.co.uk info@data-store.com	
ArcView StreetMap Europe	transportation data layers: streets road network administrative boundaries key landmarks									ESRI	disponible à l'EPFL	couvre l'Europe une autre version couvre les Etats-Unis			
TELE ATLAS MULTINET	base de données représentant: les réseaux routier et ferroviaire complets d'autres informations: zones construites, adresses, points d'intérêt, services, etc.	vecteur	1:25000 - 1:50000		mise à jour continue mise à jour très détaillée pour le réseau routier mise à jour périodique pour le réseau ferroviaire		quelques mètres dans les zones densément urbanisées 5/10 m en zones bâties 25 m ailleurs (réseau routier principal, réseau ferroviaire) la précision relative n'est pas mentionnée dans le <i>Multinet User Guide Shapefile Format</i>	coordonnées de type géographique datum WGS84	Shapefile (ESRI) - Multinet Shapefile ArcInfo - StreetNet Connect	les cartes topographiques 1:25000 et 1:50000 (réseau routier principal et réseau ferroviaire) ainsi que des orthophotos (réseau routier communal) ont été utilisées comme source cf. <i>Multinet User Guide Shapefile Format</i>	Tele Atlas	gratuit pour la Suisse pour l'EPFL sinon le prix peut varier énormément en fonction du nombre d'attribut	couvre en tout cas: la Suisse, la France, l'Allemagne, l'Italie	patrick.schmid@teleatlas.com (a répondu au mail destiné à Vincent Yanef) vincent.yanef@teleatlas.com (contact avec l'EPFL) Gilles Gachet (EPFL)	
NAVTECH-NAVSTREETS BASE	réseau routier (autoroutes principales, secondaires, dénomination des routes), voies ferrées adresses, zones (lieux), frontières administratives, océans, îles, polygones et segments de voies navigables caractéristiques de terrains (forêt, etc.), rues (partiel), signalisation/panneaux, heure/date, indication sur les variations d'altitude / intersections Il existe 3 produits: BASE (minimum d'attributs), STANDARD, PREMIUM (maximum d'attributs)	vecteur	1:5000 en milieu urbain		mise à jour trimestrielle - la gamme Navtech bénéficie de 4 mises à jour par an			projection suisse	MIF/MID - MapInfo TAB Shapefile (Arc View) - Esri SHP	la base de données Navtech a été réalisée à l'aide d'un processus industriel très complet de recueils, de tests et d'essais complémentaires des données routières. Des recherches détaillées, des vérifications continues sur le terrain et une actualisation permanente des données.	Novasys SA (74 av. de cour, case postale 177, Lausanne 3) distribue les données Navtech de Navigation Technologies en Suisse pour toute l'Europe	le prix dépend du type d'utilisation, du nombre d'utilisateur, de la zone couverte il dépend également du produit choisi	couverture complète de la Suisse	www.novasys.ch ali.hussein@novasys.ch Tél.: 021 614 35 35	
Modèle global SRTM30	relief (Modèle Numérique de Terrain)	raster					trame d'environ 1 km de largeur de maille (résolution sphérique du modèle à 30 secondes d'arc)	Mercator		vol spatial radar	USGS et EROS Data Center	gratuit	couverture du globe (60° latitude nord - 56° latitude sud)		
DONNEES CAFT	données relatives aux trafics routier et ferroviaire transalpins de marchandises (ex.: origine/destination, points de franchissement de la frontière, poids du véhicule, type de véhicule, longueur du véhicule, immatriculation du véhicule, catégorie de marchandises transportées, tonnages transportés, nombre de train transporté)	données origine/destination		1999 / 2004	enquête détaillée tous les 5 ans				Access	comptages routiers automatiques, interviews (chauffeurs routiers), comptages routiers manuels, statistiques ferroviaires de CFF Cargo, interviews et données d'Hupac SA et d'Intercontainer-Interfrigo ICF	pour la Suisse: ARE (Office Fédéral du Développement Territorial) - OFT (Office Fédéral des Transports)	mise à disposition gratuite pour l'EPFL	arc alpin	OFT (anciennement ARE): Walter Züst	
CORINE LANDCOVER	élaboré à partir de données satellites, de données topographiques, de photographies aériennes et de données Landsat TM ou SPOT HRV interprétation de l'occupation du sol et délimitation d'unités homogènes (de 25 ha au minimum) trois niveaux de généralisation: 5 classes (territoires artificialisés, territoires agricoles, forêts et milieux semi-naturels, zones humides, surfaces en eaux), 15 classes (ex.: surfaces en eaux: eaux continentales, eaux maritimes), 44 classes (ex.: surfaces en eaux: cours et voies d'eau, plans d'eau, lagunes littorales, esuaires, mer et océan)	raster					grilles aux cellules de 25 hectares			cf. <i>OFS OFEFP 1998</i>			couvre: toute l'Europe		

Annexe 6 : Outil « Slope » (ArcGIS Desktop Help 2004)

ArcToolbox

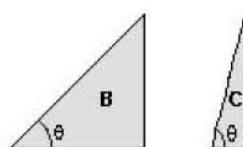
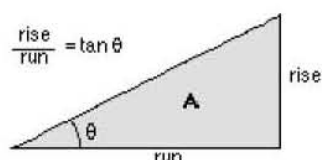
How Slope works

Slope identifies the maximum rate of change in value from each cell to its neighbors. An output slope raster can be calculated as percent slope or degree of slope.

Users are sometimes confused between slope measurements expressed in degrees and percent. Consider triangle B where the angle of the slope is 45°. The rise is equal to the run. Expressed

Degree of slope = θ

Percent of slope = $\frac{\text{rise}}{\text{run}} * 100$



Degree of slope = 30
Percent of slope = 58

45
100

76
373

as a percentage, the angle is 100%. Note that as the slope angle approaches vertical (90 degrees), the percentage slope approaches infinity.

Conceptually, the slope function fits a plane to the z-values of a 3 x 3 cell neighborhood around the processing or center cell. The direction the plane faces is the aspect for the processing cell. The slope for the cell is calculated from the 3 x 3 neighborhood using the average maximum technique (see References). If there is a cell location in the neighborhood with a NoData z-value, the z-value of the center cell will be assigned to the location. At the edge of the raster, at least three cells (outside the raster's extent) will contain NoData as their z-values. These cells will be assigned the center cell's z-value. The result is a flattening of the 3 x 3 plane that is fit to these edge cells, which thus usually leads to a reduction in the slope.

The actual algorithm that is used to calculate slope is:

```
rise_run = SQRT(SQR(dz/dx)+SQR(dz/dy))
degree_slope = ATAN(rise_run) * 57.29578
```

where the deltas are calculated using a 3 x 3 roving window.

"a" through "i" represent the z_values in the window:

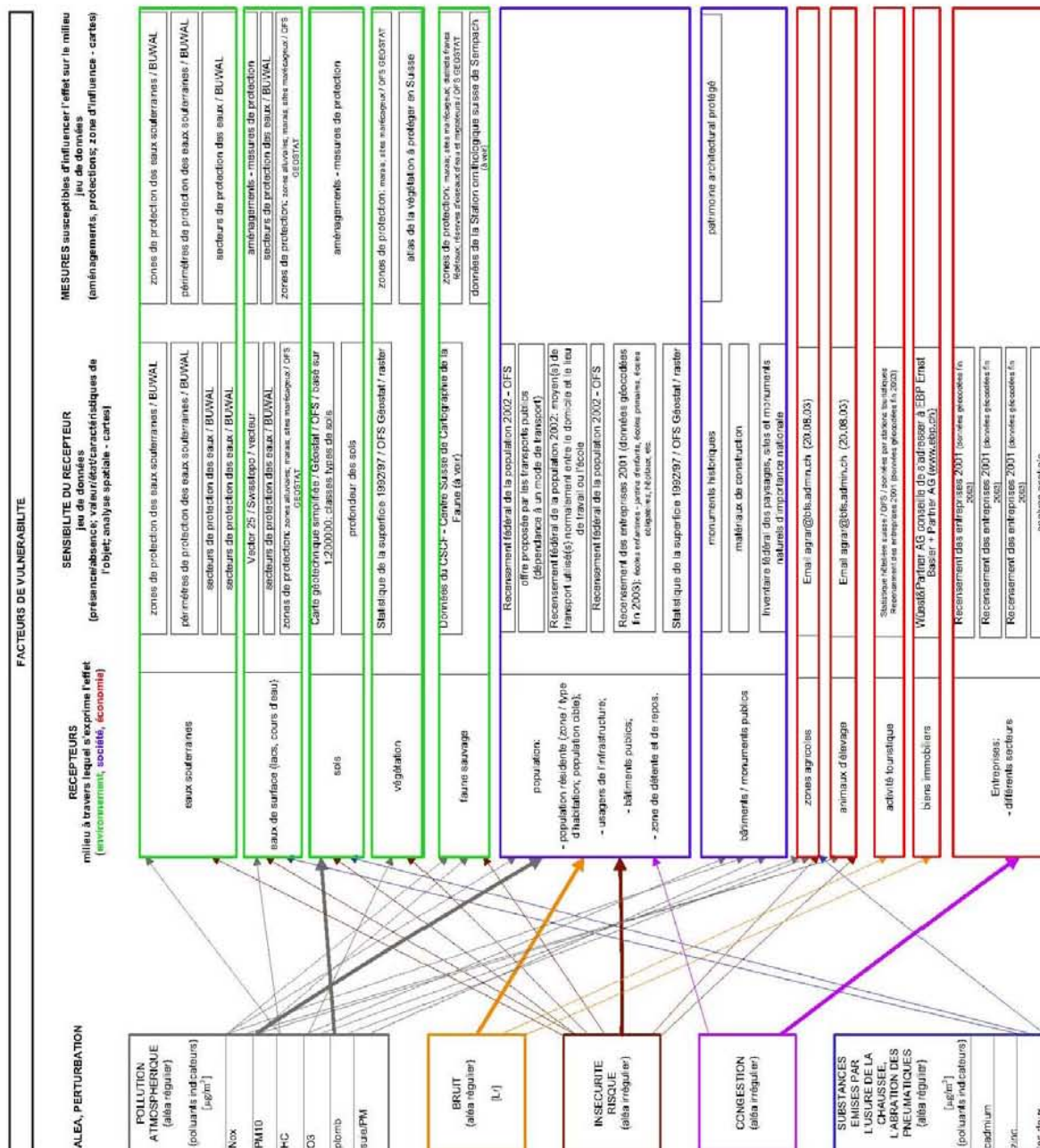
```
a b c
d e f
g h i
```

```
(dz/dx) = ((c + 2f + i) - (a + 2d + g)) / (8 * x cell size)
(dz/dy) = ((g + 2h + i) - (a + 2b + c)) / (8 * y cell size)
```

References

Burrough, P. A. and McDonell, R.A., 1998. *Principles of Geographical Information Systems*. (Oxford University Press, New York), p. 190.

Annexe 7 : Facteurs de vulnérabilité



Annexe 8 : Modèles dans ArcGIS (ModelBuilder)

Nom du modèle	Nombre de traitements
CalculEmissionsRoutesAutre	701
DonneesTunnels	2
Model_TraitementDonneesMaxGrid	4
Model_Verification_Vents	15
MODELALPSIG_BufferItinéraires	39
MODELALPSIG_ImmissionsRailRoute_Sc1_1	103
MODELALPSIG_ImmissionsRailRoute_Sc1_2	140
MODELALPSIG_ImmissionsRailRoute_ScBase_1	103
MODELALPSIG_ImmissionsRailRoute_ScBase_2	140
MODELALPSIG_IndicateursScBaseSc1	297
MODELALPSIG_Rail	105
MODELALPSIG_Rail_suite	60
MODELALPSIG_Route	309
MODELALPSIG_Route_Suite	246
MODELALPSIG_ScriptTransfertTrafic	18
MODELALPSIG_WResultats	45
ModelDonneesMeteorologie	301
ModelJoin	5
ModelZonesHomogenes	10
TraitementDonneesPopulation	3
TraitementDonneesRail2	37
TraitementDonneesRail3	35
TraitementDonneesRail4	47
TraitementDonneesRoute1	37
TraitementDonneesRoute3	24
TraitementDonneesRoute3Final	118
TraitementDonneesRoute3FRC01	22
TraitementDonneesRoute3FRC2	22
TraitementDonneesRoute3FRC34	22

Annexe 9 : Tunnels routiers et ferroviaires

cf. Modèle « DonnéesTunnels »

Importation des données TeleAtlas (1):

On importe les données TeleAtlas relatives aux tunnels et aux ponts (Brunnels – Bridges and tunnels / cheche_____as.shp) sous :

C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\BD_ALPSIG_General.mdb\DonneesGenerales

On a cheche_____as.shp

Sélection des données relatives aux tunnels (2):

Select : "STRUCTTYP"=4

On obtient Tunnels sous : C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\BD_ALPSIG_General.mdb\DonneesGenerales

Annexe 10 : Traitement des données relatives à la population

Données de la population – recensement 2000 – OFS

Les données relatives à la population :

- **Source** : Office Fédéral de la Statistique, 2005
- se trouvent dans le fichier **VZ2000.txt**
- sont sous forme ponctuelle (le point se trouve au sud-ouest de l'hectare)

Dans la BaseDeDonnees_07.03.05 :

- importer via Access le fichier VZ2000.txt : table **POP_2000**
- enlever les « » de tous les noms de colonne (cela pose des problèmes dans ArcMap)

Créer l'événement :

Dans un projet .mxd (DonneesPopulation.mxd sous : C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws) mettre :

- **maxchgrid** (grille fournie par l'OFS)

Aller dans « Spatial Analyst » (si jamais activer l'extension), sous « option » :

- dans l'onglet « extent » mettre : same as Layer « maxchgrid »
- dans l'onglet « cell size » mettre : same as Layer « maxchgrid »

Aller dans le menu « Tools », « add xy data » (spécifier le système de coordonnées) :

- on a **POP_2000 Events** (360431 points)
- on l'enregistre sous POP_2000_Event : C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws

Créer la/les couche/s « raster » à partir de l'événement :

Aller dans « Spatial Analyst », sous « convert feature to raster » :

- choisir la valeur que l'on souhaite présenter : **POOBTOT** (population totale)
- l'output cell size est de 100 par défaut puisqu'on se base sur une grille hectométrique (maxchgrid)
- l'output « raster » par défaut (Temp)

Export et enregistrement :

- Aller sur la couche créée et cliquer sur le bouton droit de la souris, sous « data », « export data », sélectionner le dossier qui est un espace de travail (workspace) :
- on a **pop_totale** (raster dataset) sous C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws_raster\Donnees_RASTER

Mettre la valeur 0 où il n'y a pas de données :

- Aller dans « Spatial Analyst » sous « Reclassify » et cocher la case « Change missing values to No Data » et aller sur « No Data » dans le « Set values to reclassify » et mettre « 0 » dans la colonne « New values » à la place de « No Data ». Ces nouvelles données sont enregistrées (output « raster ») : **pop_totale_ok** sous : C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws_raster\Donnees_RASTER

Addition d'attributs à la couche PopImmissions_ScBase.shp (données ponctuelles)

Les données ponctuelles relatives à la population sont copiées.

On obtient : PopImmissions_ScBase sous C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws_raster\Immissions_RailRoute\ScenarioDeBase

Cette nouvelle couche est importée dans ArcMap.

Ajout d'un nouveau champ commun à tous les enregistrements :

- Un champ « common » est ajouté (type : short integer) à la couche PopImmissions_ScBase ou Sc1 et est calculé = 1

Ajout d'un champ correspondant aux cantons :

- A partir de PopImmissions_ScBase, un joint spatial (« spatial join ») est fait avec la couche Cantons_CH (sous C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\BD_ALPSIG_General)
- « Each point will be given all the attributes of the polygon that it falls inside »
- Suppression de l'ensemble des colonnes ajoutées excepté les colonnes suivantes :
 - NAME_ANSI
 - KTKURZ

Compte tenu que certains points n'ont pas de valeurs relatives aux cantons (KTKURZ = vide) - 335 points dans ce cas...

- Sélection de ces points, « data », « export data » (selected feature) : PopImmSelectionScBase sous C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws_raster\Immissions_RailRoute\ScenarioDeBase ou Scenario1
- Création d'une zone tampon de 300 mètres pour les cantons : Cantons_CH_buffer300
- Depuis PopImmSelectionScBase, un joint spatial est fait avec la couche Cantons_CH_buffer300.
- On obtient : PopImmSelectionScBase2
- Suppression des champs devenus inutiles (garder que : Numéro, X, Y, KTKURZ_1, NAME_ANS_1)
- Depuis PopImmissions_ScBase un joint est fait avec PopImmSelectionScBase2 et avec les champs Numéro :
- « Each point will be given all the attributes of the point in the layer being joined that is closed to it, and a distance field showing how close that point is ».
- Sélection des enregistrements n'ayant pas de valeurs pour KTKURZ et NAME_ANSI
- Calcul de ces champs (pour les valeurs sélectionnées) avec les valeurs jointes
- Suppression du joint (« join », « remove join »)

Ajout d'un champ correspondant aux différentes zones tampons :

- Copie de PopImmissions_ScBase2 (« Copy feature »)
On obtient : PopImmissions_ScBaseOk
- Ajout du champ suivant : Buffer (short integer)
- Sélection des points correspondant à chaque corridor selon la localisation :
« Select by location », PopImmissions_ScBaseOk, Intersect, MargrethenBellinzona_RteBuffer (sous
C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\SCRIPT_2)
« Open attribute table », « Calculate values » (selected): Buffer = 9
etc.

Dans l'ordre suivant (importance des superpositions):

- 9 - MargrethenBellinzona_Rte Buffer = 9
- 2 - OltenIselleDiTrasquera_Rail Buffer = 2
- 3 - OltenRisch_Rail Buffer = 3
- 6 - OltenAltdorf_Rte Buffer = 6
- 5 - RischAltdorf_Rail Buffer = 5
- 7 - AltdorfBellinzona_RailRte Buffer = 7
- 8 - BellinzonaChiasso_RailRte Buffer = 8
- 1 - BaselOlten_RailRte Buffer = 1

Cette couche est utilisée pour l'ensemble des scénarios (scénario de base, scénarios 1, etc.).

Annexe 11 : Traitement des données de base (réseau routier et ferroviaire)

Remarques:

- Rail : données travaillées sous ArcGIS 8.3 et ArcGIS 9.0
- Routes : données travaillées sous ArcGIS 9.0

Objectifs :

- Obtention d'un réseau fonctionnant avec le script permettant de simuler un transfert modal et/ou spatial du trafic transalpin de marchandises
- Route : fusion des données relatives au réseau (différents types de routes)
- Rail : vérification et éventuelle création de la topologie du réseau (outil « clean »)
- Rail et route : accrochage des nœuds « utiles » au réseau
- Rail et route : découpage du réseau aux nœuds
- Route : découpage du réseau aux jonctions et aux intersections
- Rail et route : Attribution de l'altitude/élévation (valeur Z) aux nœuds accrochés
- Route : attribution d'un nom aux nœuds

Réseau ferroviaire :

Sous ArcGIS 8.3 :

Travail du réseau :

Ajout d'un tronçon du nœud 94 au nœud 123 à la couche railways_geometry_table__rr.shp de TeleAtlas:

- Copie de la couche railways_geometry_table__rr.shp qui est nommée railway_2.shp
- Ajouter le tronçon manquant (94-123) sur la couche railway_2.shp:
« Editor, Start editing, Task: create new feature, Target: railway2.shp, Sketch tool (crayon), zoom puis dessin tronçon, Stop edits, Save edits »
- On obtient : railway2.shp

Conversion de ce shapefile en coverage (ArcGIS 8.3) :

- À l'aide de l'outil « Shapefile to Coverage »
- On obtient: railway2.cov

Création de la topologie de ce coverage :

- À l'aide de l'outil « Clean »¹ (tolérance par défaut (32.9), sélectionner « line »)
- On obtient: railway2_32.9.cov

Conversion de ce coverage en shapefile :

- « Coverage to Shapefile »
- On obtient: railway2_32.9.shp

Sous ArcGIS 9.0 :

Les résultats obtenus sous ArcGIS 8.3 sont utilisés :

- Copie de la couche Railway2_32.9 qui est nommée RéseauFerrov
- Quelques corrections manuelles sont apportées au réseau
- On obtient : RéseauFerrov_ok

Accrochage des nœuds au réseau :

Utilisation de couches suivantes :

- RéseauFerrov_ok.shp
- nœuds_ferroviaires_modifies (411 nœuds / 2 nœuds ont été ajoutés : Zollikofen et Mattstetten)

Accrocher les nœuds ferroviaires « utiles » à l'aide du script :

- « Accrocher des points à des lignes »² (tolérance 2500 – choix après plusieurs essais) – **Attention** : il faut utiliser des shapefiles et non des features classes
- On obtient : NoeudsFerrovAccroches_ok (420 nœuds / 428 nœuds)
- Remarque : 8 nœuds ne sont pas accrochés puisqu'ils sont situés en dehors du réseau (vers Schaffhausen)

Découpage du réseau :

Découpage du réseau au niveau des nœuds « accrochés » à l'aide du script :

- « Découper les lignes par des points »³
- On obtient: RéseauFerroviaire_ok

Calcul de l'altitude des nœuds accrochés :

Dans ArcMap on importe :

- le shapefile des nœuds ferroviaires : NoeudsFerrovAccroches_ok
- le MNT⁴ 25 (grid)

¹ « Creates topology for lines or polygons – this may include coordinate editing – and creates or updates their attribute tables. It splits intersecting lines, removes dangles, undershoots and slivers » ArcGIS Desktop Help.

² Script développé par Guillaume Tournadre et Gaëtan Lavenue d'ESRI France – cf. <http://support.esri.fr>

³ Script développé par Guillaume Tournadre et Gaëtan Lavenue d'ESRI France – cf. <http://support.esri.fr>

⁴ Modèle Numérique de Terrain

Utilisation du script « Extraction de la valeur Z d'une grille avec un thème de point »⁵ qui ajoute une colonne « Elevation » la couche des nœuds.

Réseau routier :

Sous ArcGIS 9.0 :

Travail du réseau :

L'ensemble des données utilisées pour le modèle et issues du modèle « TraitementDonneesRoutes1 » se trouvent dans le « scratch workspace » sous C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\Scratch_ws

- Ajout du champ « common » aux couches correspondant aux différents types de routes contenus dans la BD_ALPSIG
- Calcul de la valeur de ce champ qui est égal à 2 pour l'ensemble des routes⁶
- Transformation des « features classes »⁷ motorways et main_roads de la base de données BD_ALPSIG en coverages afin d'utiliser l'outil « Collapse dual lines to centerline » (maximum width : 50 – choix après plusieurs essais) qui permet de créer une ligne centrale où les lignes sont dupliquées (ex. : deux lignes pour les deux voies de l'autoroute). Cet outil n'est pas appliqué à l'ensemble des routes puisqu'il ne donne pas de bons résultats avec les routes présentant beaucoup de virages⁸.
- Transformation des différentes routes de la BD_ALPSIG et des coverages en ce qui concerne les motorways et les main_roads en shapefiles.
- Suppression des cadres présents dans les couches motorways et main_roads. Puis fusion des différents types de routes sur la valeur commune d'un champ⁹
On obtient la couche : ReseauRoutier.shp
- Recalcul de la valeur du champ « common » étant donné que sa valeur n'est plus valable pour les couches motorways et main_roads (transit via coverage)
- Suppression des champs dont on n'a plus besoin
- Mise à jour de la valeur du champ « FRC »¹⁰ des main_roads (la valeur FRC = 0 a été attribuée aux deux coverages) : « Select by location » ReseauRoutier.shp, « share a line segment with », main_roads1_arc ; « start edit » – FRC = 1 pour les objets (features) sélectionnés dans la couche ReseauRoutier – « stop editing » ; suppression du champ « shape length » dont la valeur n'est pas attribuée à l'ensemble des objets
- Importation de la « feature class » NœudsRoutiersUtile
- Accrochage de ces nœuds aux différents types de routes :
 - accrochage de NœudsRoutiersUtile à motorways1_arc.shp (tolérance : 500)
On obtient : NœudsAccrochesMotorways (464 nœuds)
 - NœudsRoutiersUtile, bouton droit, Join, Join attributes from NOD_R, NœudsAccrochesMotorways, NOD_R
 - « Select by attributes », NœudsRoutiersUtile « NœudsAccrochesMotorways_NOD_R » >= 0
 - Dans la table NœudsRoutiersUtile, « Option », « Switch selection »
 - « Remove Join »
 - « Selection », « create layer »
 - « Data », « export data » : NœudsRoutiersUtile1
 - Même procédé avec les autres types de routes et on obtient : NœudsAccrochesMainRoads (156), NœudsAccrochesOthMajRoads (294), NœudsAccrochesSecondRoads (67), NœudsAccrochesLocalRoads (36)
- Fusion des différentes couches de nœuds accrochés avec l'outil « Merge »
On obtient : NœudsRoutiersAccrochesOk
- *Après un premier test et une correction de 4 nœuds (51030, 51088, 14062, 14294) on fusionne 3 couches de nœuds : DeuxNoeudsProblematicques.shp, DeuxAutresNoeudsProblematicques.shp, les EncoreDeuxAutresNoeudsProblematicques.shp et les NœudsRoutiersAccroches.shp auxquels on a enlevé les 4 nœuds problématiques.*
- Extraction de la valeur Z (altitude/élévation) du MNT25 avec un thème de points (NœudsRoutiersAccrochesOk)
- Une intersection est faite entre la couche NœudsRoutiersAccrochesOk et la couche Communes_CH de Swisstopo afin d'attribuer un nom à chacun des nœuds, on obtient NœudsRoutiersAccrochesOkNoms
- Suppression des champs dont on n'a plus besoin
- Découpage du réseau au niveau des nœuds - Attention: une fois qu'on a le résultat du découpage (réseau sélectionné), il faut aller dans: « Selection », « create layer » puis dans « data », « export data » et on obtient : ReseauRoutierOk
- Importation de ReseauRoutierOk dans la base de données (geodatabase) « troncons_resultant » et le dataset¹¹ « trafic_routier_ok » (script)
- Création d'un réseau géométrique avec ReseauRoutier (snap tolérance = 2)
- Exportation des jonctions (junctions) obtenues (dans scratch workspace)
- Après avoir supprimé la couche ReseauRoutier du scratch workspace, on réexporte ce réseau vers le scratch workspace.
- Découpage du ReseauRoutier au niveau des jonctions à l'aide du script « Découper les lignes par des points »¹² - Attention: une fois qu'on a le résultat du découpage (réseau sélectionné), il faut aller dans: « Selection », « create layer » puis dans « data », « export data » et on obtient : ReseauRoutierOkOk

⁵ Script créé par ESRI Inc et adapté en VBA par Frédéric Prally (société SETEGUE) – cf. <http://support.esrifrance.fr/>

⁶ Cette valeur est utile par la suite pour fusionner (« merge ») les différents types de routes sur la valeur commune d'un champ.

⁷ Classes d'objets

⁸ Il crée alors une ligne centrale entre les virages.

⁹ Common = 2

¹⁰ Ce champs fait référence au type de route (0 = motorways ; 1 = main roads ; 2 = other main roads ; 3 = secondary roads ; 4 = local roads)

¹¹ Jeu de données

¹² Script développé par Guillaume Tournadre et Gaëtan Lavenue d'ESRI France – cf. <http://support.esrifrance.fr/>

- Découpage du réseau au niveau des intersections grâce à l'outil « Intesect selected » d'ET Command¹³ : « Start edit », sélection d'une bande, « Intesect selected », « Save edit », sélection d'une autre bande, etc.¹⁴ Attention à la fin : (« stop edit » (réseau incomplet)) ; dans table RéseauRoutier, « option », « switch selection », « create a layer from selected features », « data », « export data », on obtient : RéseauRoutierOk8
- Des problèmes de connexion sont rencontrés lorsque l'on cherche à avoir les Origines et Destinations pour tous les tronçons ; de ce fait, on sélectionne le réseau routier « utile », c'est-à-dire le RéseauRoutierOk8 qui correspond au TraficRoutierTransalpin et qui ont une FRC ≤ 3
« Select by location » : RéseauRoutierOk8, « that are contained by », TraficRoutierTransalpin, Buffer (zone tampon) de 200 m / « Select by attributes » : RéseauRoutierOk8, « Add to current selection », « FRC » ≤ 3 / Selection: « create layer from selected features » / « Data », « export data », RéseauRoutierOk9
On obtient: RéseauRoutierOk9
- Accrochage des NoeudsRoutierAccrochesOk au RéseauRoutierOk9 (tolérance : 100) ; suppression de la colonne « élévation » et on refait les étapes 14 à 17
- Exportation du RéseauRoutierOk9 dans la base de données « troncons_resultant » et le jeu de données « trafic_routier_ok » (script)
- Création d'un réseau géométrique dans la base de données « troncons_resultant » et le jeu de données « trafic_routier_ok » (snap tolérance = 0)
- Exportation du RéseauRoutierOk9 et de trafic_routier_ok_Net_Junctions dans le workspace « ALPSIG_ws »
- Transfert de l'identifiant des jonctions afin d'obtenir une Origine et une Destination pour chaque tronçon routier à l'aide du script « Transférer un attribut des noeuds vers les polygones connectées »
- Exportation de RéseauRoutierOk9 et de trafic_routier_ok_Net_Junctions qui se trouvent dans le workspace ALPSIG_ws vers le fichier « DonneesRoutesScript1 » du scratch workspace
- Exportation de NoeudsRoutiersAccrochesOk9Noms.shp qui se trouvent dans le scratch workspace vers le fichier « DonneesRoutesScript1 » du scratch workspace
- Suppression du réseau (Net) et de RéseauRoutierOk9 dans « trafic_routier_ok »
- Exportation de RéseauRoutierOk9 (10Corr) du fichier « DonneesRoutesScript1 » du scratch workspace vers dans la base de données « troncons_resultant » et le jeu de données « trafic_routier_ok » (script)
- Exportation de NoeudsRoutierAccrochesOk9Noms du fichier « DonneesRoutesScript1 » du scratch workspace vers dans la base de données « troncons_resultant » et le jeu de données « trafic_routier_ok » (script)
- Ajout d'un tronçon « routier » (FRC = 2) au niveau du tunnel du Lötschberg (O = 9867 ; D = 9862). Ajout de deux tronçons ayant des valeurs de trafic = 0 : 52004-99022, 9022-52004, 52004-45124, 45124-52004 dans la BaseDeDonnees_07.03.05. Cela permet ainsi par la suite de transférer du trafic transalpin sur ces axes et d'observer les conséquences. Pour le franchissement du Lötschberg on admet l'hypothèse selon laquelle le transport des camions sur ce tronçon ferroviaire est possible. Pour cela, le RéseauRoutierOk10 (ajout d'un tronçon et de ses attributs) et NoeudsRoutiersAccrochesOk9Noms que l'on renomme NoeudsRoutiersAccrochesOk10Noms sont utilisés.

¹³ <http://www.ian-ko.com/>

¹⁴ Si le produit « ET Command » est acheté, il serait alors possible de le faire fonctionner sur tout le réseau alors que la version gratuite utilisée dans le cadre de cette recherche permet de traiter qu'un nombre limité de « features ».

Annexe 12 : Représentation du trafic routier et ferroviaire transalpin de marchandises

Remarques :

- le script a été conçu par Raphaëlle Arnaud, David Lindemann (DEPTH S.A.) et Holger Heisig (LITEP) et développé par Holger Heisig
- le script est développé dans ArcGIS (Visual Basic Editor) en langage VBA

Objectifs :

- l'objectif de ce script est d'associer les valeurs du trafic transalpin respectivement routier et ferroviaire de marchandises sur les différents tronçons composant le réseau
- pour cela ce script recherche notamment le plus court chemin (en distance, en temps selon les paramètres utilisés) entre deux nœuds, chemin auquel le trafic va être associé

Préparation des données pour le script :

Ajout d'une colonne dans la couche représentant le réseau routier afin de rechercher le plus « court » chemin en fonction de la longueur du tronçon et du type de route¹⁵ :

- Ajout de la colonne « ChoixItin » dans la table ReseauRoutierOk9
- Calcul de la valeur de la colonne: $[\text{Shape_Length}] + ([\text{FRC}] * 10)$
 $[\text{Shape_Length}]$: longueur du tronçon
 $[\text{FRC}]$: type ou catégorie de route¹⁶
10 : constante

Ainsi, pour une même longueur, la valeur est par exemple plus faible pour une autoroute que pour une autre route.

Remarque au sujet de la recherche du plus « court » chemin :

Le choix du plus court chemin dépend de la distance (longueur des tronçons) en ce qui concerne le réseau ferroviaire et de la distance et du type ou catégorie de route en ce qui concerne le réseau routier.

Il serait possible de choisir ou d'ajouter d'autres paramètres pour rechercher le plus court chemin. Ainsi, par exemple, la déclivité pourrait être considérée (plus la déclivité est importante plus l'itinéraire est dissuasif).

Toutefois, compte tenu de la précision des données¹⁷ à disposition, l'ajout de tels paramètres ne semble pas indispensable dans l'objectif de tester la méthode mais reste envisageable par la suite.

Exportation des données relatives au réseau puis aux nœuds (Attention : exporter d'abord le réseau puis les nœuds)¹⁸ vers la base de données « troncons_resultant » en leur donnant le même nom pour le jeu de données (« trafic_ferroviaire_ok » ; « trafic_routier_ok ») et en déterminant un système de coordonnées pour le jeu de données

Fonctionnement du script :

Le script est conçu pour être effectué sur un seul réseau. Les étapes décrites ci-dessous sont donc effectuées deux fois, une fois pour le réseau routier et une fois pour le réseau ferroviaire. A quelques exceptions, les traitements effectués sont similaires.

Création d'un réseau géométrique :

- « select all »
- « Do your feature need to be snapped? » : oui
Pour le rail: tolérance = 2 et select all
Pour la route: tolérance = 5 et select all
- « Do you want to assign weights to your network? » : yes,
Pour le rail: Name = dist / Type=double
Pour la route : Name = ChoixItin¹⁹ / Type = double
- « Assign your weights to fields in your feature classes? » : pour le réseau = shape_length, pour les noeuds = none
- ok

On obtient alors un réseau géométrique :

- trafic_ferroviaire_ok_Net (7 invalid features)
- trafic_routier_ok_Net (256 invalid features)

Pour conserver la structure de la table, exporter la table conçue pour accueillir les résultats (pour la route : resultat_troncons_17 ; pour le rail : resultats_trac_ferroviaire) dans la même base de données mais dans le nouveau jeu de données (trafic_ferroviaire_ok ; trafic_routier_ok). On obtient alors une table destinée à accueillir les résultats :

- pour le rail : trafic_ferroviaire_transalpin_ok
- pour la route : TraficRoutierTransalpin

¹⁵ Cette colonne n'est pas ajoutée dans la couche représentant le réseau ferroviaire étant donné que le plus « court » chemin est dans ce cas uniquement recherché en fonction de la longueur du tronçon.

¹⁶ 0 = motorways ; 1 = main roads ; 2 = other main roads ; 3 = secondary roads ; 4 = local roads

¹⁷ En effet, il arrive notamment pour le réseau routier qu'un tronçon de très courte distance ait une jonction à une altitude très différente d'une autre jonction étant donné notamment la précision du MNT utilisé ayant pourtant une résolution à 25 mètres.

¹⁸ ReseauRoutierOk9 ; NoeudsRoutiersAccrochesOk10Noms ; ReseauFerrov_ok ; NoeudsFerrovAccroches_ok

¹⁹ La colonne « ChoixItin » est utilisée comme poids (weight – « cost of traveling along an edge in a network ») pour le choix de l'itinéraire.

Mettre dans le projet ArcMap conçu pour le fonctionnement du script (pour le rail « troncons_ferroviaires_v9.mxd » ; pour la route : « troncons_routiers_v9.mxd ») ! dans cet ordre ! :

La couche (.shp) : trafic_ferroviaire_transalpin_ok ou TraficRoutierTransalpin

Le réseau géométrique trafic_ferroviaire_Net ou trafic_routier_ok_Net qui contient :

- trafic_ferroviaire_ok_Net_Junctions ou trafic_routier_ok_Net_Junctions (créé par le script)
- le réseau ferroviaire (ReseauFerrov_ok) ou le réseau routier (ReseauRoutierOk7)
- les nœuds ferroviaires (NoeudsFerrovAccroches_ok) ou les nœuds routiers (NoeudsRoutiersAccrochesOkNoms)

Dans ArcMap supprimer le contenu de la table resultat_trafic_ferroviaire ou TraficRoutierTransalpin :

- ouvrir la table de resultat_trafic_ferroviaire ou TraficRoutierTransalpin
- cliquer sur « option », « switch selection » (cela permet de tout sélectionner)
- cliquer sur « start editing »
- se placer sur la carte et cliquer le bouton droit de la souris et sélectionner « delete »
- cliquer « stop edit » puis « save edit »

Lancement du code :

Dans ArcMap, activer la couche resultat_trafic_ferroviaire ou TraficRoutierTransalpin puis cliquer sur l'icône « smile ».

Une fois terminer une fenêtre affichant le message « Done » apparaît.

La couche trafic_ferroviaire_transalpin_ok ou TraficRoutierTransalpin contient les données résultant du script.

Remarque :

- Pour la route : 1913 tronçons sur 1933 ont été calculés
- Pour le rail : 746 tronçons sur 745 ont été calculés

L'algorithme (ex. : le trafic routier) :

« This document » :

```
Private m_ipPoints As IPointCollection
```

```
Private m_ipPathFinder As Pathfinder
```

```
Private Function MxDocument_ActiveViewChanged() As Boolean
```

```
End Function
```

```
' This function was written by Holger Heisig for Raphaele Arnaud at LITEP in September 2004
```

```
' The problem is stated as follows:
```

```
' Traffic data in a MS Access database should be used in order to redefine the railway net data.
```

```
' The table "troncons_routiers_joursouvrables99" in the "BaseDeDonnees_07.03.05.mdb" database contains
```

```
' the traffic volume between two different knots identified by the columns "A_Noda" and "A_Nodb"
```

```
' The point shape "noeudsrouliersaccroches" contains the railway network knots. It contains
```

```
' as well a column named "NOD_R" with the connecting identifier. The task is to
```

```
' redefine the connecting lines ("Reseauroutier") so that each line represents the
```

```
' shortest path from "A_Noda" to "A_Nodb"
```

```
' A geometric network is created that contains the data of these two shapefiles. This is done
```

```
' because the method used (using a "PathFinder" object) requires such.
```

```
' The result paths will be stored, together with the attribute data read out from the
```

```
' "troncons_routier_joursouvrables99" table in a feature dataset of type polyline.
```

```
' The feature dataset must already exist with the specified column names and types.
```

```
' For to run the routine:
```

```
' 1) Open ArcMap
```

```
' 2) Add the layer that will store the results (here: troncons)
```

```
' Make sure all paths and names are accordingly defined in the routine
```

```
' 3) Add the geometric network created from the "Reseauroutier" and the
```

```
' "noeudsrouliersaccroches" shapefiles
```

```
' 4) Run the routine by pressing the "Smily" button on the "Tools" toolbar
```

```
' 5) Verify the results
```

```
' Make sure that the ESRI Add-In "NetObj.VB6" is registered and activated (Outils > References).
```

```
' For registration of ESRI Add-Ins see: "How to set up the ESRI add-ins for VB" in the
```

```
' ArcObjects Developer Help system
```

```
Private Sub UIButtonControl1_Click()
```

```
' First, the database must be opened:
```

```
' openAccessDB: connect to a personal geodatabase
```



```

'
On Error GoTo EH

Dim pWS As IWorkspace
Dim pWorkspaceFactory As IWorkspaceFactory

Set openAccessWorkspace = Nothing

Set pWorkspaceFactory = New AccessWorkspaceFactory
Set pWS = pWorkspaceFactory.OpenFromFile("C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\BaseDeDonnees_07.03.05.mdb", 0)
openAccessWorkspace = pWS

'MsgBox "Database opened"

Dim pFeatureWorkspace As IFeatureWorkspace
Set pFeatureWorkspace = pWS

'Next, the needed table is opened

Dim pTable As ITable
Set pTable = pFeatureWorkspace.OpenTable("troncons_routiers_jouvables99")

'MsgBox "Table 'troncons_routiers_joursouvables99' opened"

' Next, a cursor on the table in the database is put on which will loop
' through the database table line by line

Dim pCursor As ICursor
Dim pRow As IRow

Set pCursor = pTable.Search(Nothing, True)
Set pRow = pCursor.NextRow

' An edit session is opened:

Dim pEditor As IEditor
Dim pID As IUID

Set pID = New UID
pID = "esricore.Editor"
Set pEditor = Application.FindExtensionByCLSID(pID)

'Call the StartEditing routine
StartEditing pEditor

' Declare the variables that hold the data from the table
'troncons_routiers_joursouvables99"
Dim A_Noda As Long
Dim A_Nodb As Long
Dim IDtronconA As Long
Dim F_tonnesnettes_99 As Double
Dim A_ToBrut99 As Double
Dim A_ToBrutJN As Double
Dim A_NbVeh99 As Double
Dim A_NbVehJN As Double
Dim A_PoidsMoyVeh99 As Double
Dim A_Distance As Double
Dim A_Temps As Double

'Loop on the database table: troncons_routiers_joursouvables99
Do While Not pRow Is Nothing
'For g = 1 To 15

' The table data are being read out and stored in variables
A_Noda = pRow.Value(pRow.Fields.FindField("A_Noda"))
A_Nodb = pRow.Value(pRow.Fields.FindField("A_Nodb"))
IDtronconA = pRow.Value(pRow.Fields.FindField("IDtronconA"))
F_tonnesnettes_99 = 0 'pRow.Value(pRow.Fields.FindField("R_tonnesnettes_99"))
A_ToBrut99 = pRow.Value(pRow.Fields.FindField("A_ToBrut99"))
A_ToBrutJN = pRow.Value(pRow.Fields.FindField("A_ToBrutJN"))
A_NbVeh99 = pRow.Value(pRow.Fields.FindField("A_NbVeh99"))
A_NbVehJN = pRow.Value(pRow.Fields.FindField("A_NbVehJN"))
A_PoidsMoyVeh99 = pRow.Value(pRow.Fields.FindField("A_PoidsMoyVeh99"))
A_Distance = pRow.Value(pRow.Fields.FindField("A_Distance"))

```

```

A_Temps = pRow.Value(pRow.Fields.FindField("A_Temps"))

Dim ResultTroncon As IPolyline
' A function is being called that calculates a result of type Polyline for the shortest
' connection between two network points identified by "A_Noda" and "A_Nodb"
Set ResultTroncon = ResultPolyline(A_Noda, A_Nodb)

' A sub is called that stores the result geometry together with the attribute data
StoreTroncon ResultTroncon, A_Noda, A_Nodb, IDtronconA, _
F_tonnesnettes_99, A_ToBrut99, A_ToBrutJN, A_NbVeh99, A_NbVehJN, _
A_PoidsMoyVeh99, A_Distance, A_Temps

Set pRow = pCursor.NextRow

'Next
Loop

pEditor.StopEditing True

MsgBox "Done"

Exit Sub
EH:
MsgBox Err.Description, vbInformation

End Sub
'this is the start editing sub
Public Sub StartEditing(pEditor As IEditor)
Dim pMxDoc As IMxDocument
Dim pmap As IMap
Dim pFeatureLayer As IFeatureLayer
Dim pDataset As IDataset
Dim LayerCount As Integer

Set pMxDoc = Application.Document
Set pmap = pMxDoc.FocusMap

'If an edit session has already been started exit
If Not pEditor.EditState = esriStateNotEditing Then Exit Sub

'Start editing the workspace of the first featurelayer you find
For LayerCount = 0 To pmap.LayerCount - 1
If TypeOf pmap.Layer(LayerCount) Is IFeatureLayer Then
Set pFeatureLayer = pmap.Layer(LayerCount)
Set pDataset = pFeatureLayer.FeatureClass
pEditor.StartEditing pDataset.Workspace
Exit For
End If
Next LayerCount
End Sub

' This function returns an object of type IPolyline which defines the shortest path
' between two network points stored in the "noeudsrouitiersaccroches" shapefile being
' part of the geometric network created. The two knots are defined by the column "NOD_R"

Public Function ResultPolyline(A_Noda As Long, A_Nodb As Long) As IPolyline

Dim ipMxDoc As IMxDocument
Dim ipMap As IMap
Dim ipLayer As ILayer
Dim ipFeatureLayer As IFeatureLayer
Dim ipFDB As IFeatureDataset

' Make sure that NetObj.VB6 is registered and activated (Outils > References). See introducing
' comments
Set m_ipPathFinder = New PathFinder

Set ipMxDoc = ThisDocument
Set ipMap = ipMxDoc.FocusMap

Debug.Assert ipMap.LayerCount > 0

'layer with network junctions must be in the fourth layer:
'If you add the network layers to ArcMap after adding the destination file, this will
'automatically be the case.
Set ipLayer = ipMap.Layer(3)
Set ipFeatureLayer = ipLayer

```

```

Set ipFDB = ipFeatureLayer.FeatureClass.FeatureDataset
m_ipPathFinder.OpenFeatureDatasetNetwork ipFDB

Dim ipFeatureClass As IFeatureClass
Set ipFeatureClass = ipFeatureLayer.FeatureClass

Dim ipFeatureCursor As IFeatureCursor
Set ipFeatureCursor = ipFeatureClass.Search(Nothing, False)

Dim ipPointFeature As IFeature
Set ipPointFeature = ipFeatureCursor.NextFeature

Set m_ipPoints = New Multipoint

' A feature cursor now loops through all features from the "noeudsrouitiersaccroches" data that
' form part of the network

While Not ipPointFeature Is Nothing

    Dim k As Long
    k = ipPointFeature.Value(ipPointFeature.Fields.FindField("NOD_R"))
    If k = A_Noda Or k = A_Nodb Then
        Dim kpPoint As IPoint
        Set kpPoint = ipPointFeature.Shape
        ' Here, the starting and the destination point of the path to be solved are being assigned
        ' to the multipoint feature
        m_ipPoints.AddPoint kpPoint
    End If

    Set ipPointFeature = ipFeatureCursor.NextFeature

Wend

' A path can, of course, only be solved if the knots are connected with the network!:
If m_ipPoints.PointCount > 1 Then

' Assignment of the multipoint to the pathfinder method
Set m_ipPathFinder.StopPoints = m_ipPoints

' Make sure there is a weight associated with your network.
' Its name should be "dist" and it must be based on the "SHAPE_LENGTH" field of the
' "Reseauroutier" data in your network.
m_ipPathFinder.SolvePathFromJunctionFlags ("dist")

' Here comes the assignment of the return value:
Set ResultPolyline = m_ipPathFinder.PathPolyLine
End If

End Function

' This sub stores the ShortestPath result polyline together with the data from the table
' in an Output feature dataset
Public Sub StoreTroncon(ResultTroncon As IPolyline, A_Noda As Long, A_Nodb As Long, _
IDtronconA As Long, F_tonnesnettes_99 As Double, A_ToBrut99 As Double, _
A_ToBrutJN As Double, A_NbVeh99 As Double, A_NbVehJN As Double, A_PoidsMoyVeh99 As Double, _
A_Distance As Double, A_Temps As Double)

Dim pMxDoc As IMxDocument
Dim pFeatureLayer As IFeatureLayer
Dim pOutFeatureClass As IFeatureClass

' For simplicity sake, load features into the feature class
' selected in the table of contents
Set pMxDoc = Application.Document
If pMxDoc.SelectedItem Is Nothing Then Exit Sub
If Not TypeOf pMxDoc.SelectedItem Is IFeatureLayer Then Exit Sub
Set pFeatureLayer = pMxDoc.SelectedItem

Set pOutFeatureClass = pFeatureLayer.FeatureClass

Dim pGeometry As IGeometry
Set pGeometry = ResultTroncon

```



```

Dim pFeature As IFeature
Set pFeature = pOutFeatureClass.CreateFeature
Set pFeature.Shape = pGeometry

pFeature.Value(pFeature.Fields.FindField("A_Noda")) = A_Noda
pFeature.Value(pFeature.Fields.FindField("A_Nodb")) = A_Nodb
pFeature.Value(pFeature.Fields.FindField("IDtronconA")) = IDtronconA
' pFeature.Value(pFeature.Fields.FindField("F_tonnesnettes_99")) = F_tonnesnettes_99
pFeature.Value(pFeature.Fields.FindField("A_ToBrut99")) = A_ToBrut99
pFeature.Value(pFeature.Fields.FindField("A_ToBrutJN")) = A_ToBrutJN
pFeature.Value(pFeature.Fields.FindField("A_NbVeh99")) = A_NbVeh99
pFeature.Value(pFeature.Fields.FindField("A_NbVehJN")) = A_NbVehJN
pFeature.Value(pFeature.Fields.FindField("A_PoidsMoyVeh99")) = A_PoidsMoyVeh99
pFeature.Value(pFeature.Fields.FindField("A_Distance")) = A_Distance
pFeature.Value(pFeature.Fields.FindField("A_Temps")) = A_Temps

pFeature.Store

End Sub

« PathFinder » :

Option Explicit

' vb version of the PathFinder object

' local vars
Private m_ipGeometricNetwork As IGeometricNetwork
Private m_ipMap As IMap
Private m_ipPoints As IPointCollection
Private m_ipPointToEID As IPointToEID
' results
Private m_dblPathCost As Double
Private m_ipEnumNetEID_Junctions As IEnumNetEID
Private m_ipEnumNetEID_Edges As IEnumNetEID
Private m_ipPolyline As IPolyline

' Optionally set the Map (e.g. the current map in ArcMap),
' otherwise a default map will be made (for IPointToEID).

Public Property Set Map(Map As IMap)
Set m_ipMap = Map
End Property

Public Property Get Map() As IMap
Set Map = m_ipMap
End Property

' Either OpenAccessNetwork or OpenFeatureDatasetNetwork
' needs to be called.

Public Sub OpenAccessNetwork(AccessFileName As String, FeatureDatasetName As String)

Dim ipWorkspaceFactory As IWorkspaceFactory
Dim ipWorkspace As IWorkspace
Dim ipFeatureWorkspace As IFeatureWorkspace
Dim ipFeatureDataset As IFeatureDataset

' After this Sub exits, we'll have an INetwork interface
' and an IMap interface initialized for the network we'll be using.

' close down the last one if opened
CloseWorkspace

' open the mdb
Set ipWorkspaceFactory = New AccessWorkspaceFactory
Set ipWorkspace = ipWorkspaceFactory.OpenFromFile(AccessFileName, 0)

' get the FeatureWorkspace
Set ipFeatureWorkspace = ipWorkspace

' open the FeatureDataset
Set ipFeatureDataset = ipFeatureWorkspace.OpenFeatureDataset(FeatureDatasetName)

' initialize Network and Map (m_ipNetwork, m_ipMap)
If Not InitializeNetworkAndMap(ipFeatureDataset) Then Err.Raise 0, "OpenAccessNetwork",
"Error initializing Network and Map"

```

```

End Sub

Public Sub OpenFeatureDatasetNetwork(FeatureDataset As IFeatureDataset)
    ' close down the last one if opened
    CloseWorkspace

    ' we assume that the caller has passed a valid FeatureDataset

    ' initialize Network and Map (m_ipNetwork, m_ipMap)
    If Not InitializeNetworkAndMap(FeatureDataset) Then Err.Raise 0,
"OpenFeatureDatasetNetwork", "Error initializing Network and Map"

End Sub

' The collection of points to travel through must be set.

Public Property Set StopPoints(Points As IPointCollection)
    Set m_ipPoints = Points
End Property

Public Property Get StopPoints() As IPointCollection
    Set StopPoints = m_ipPoints
End Property

' Calculate the path

Public Sub SolvePath(WeightName As String)

    Dim ipNetwork As INetwork
    Dim ipTraceFlowSolver As ITraceFlowSolver
    Dim ipNetSolver As INetSolver
    Dim ipNetFlag As INetFlag
    Dim ipaNetFlag() As IEdgeFlag
    Dim ipEdgePoint As IPoint
    Dim ipNetElements As INetElements
    Dim intEdgeUserClassID As Long
    Dim intEdgeUserID As Long
    Dim intEdgeUserSubID As Long
    Dim intEdgeID As Long
    Dim ipFoundEdgePoint As IPoint
    Dim dblEdgePercent As Double
    Dim ipNetWeight As INetWeight
    Dim ipNetSolverWeights As INetSolverWeights
    Dim ipNetSchema As INetSchema
    Dim intCount As Long
    Dim i As Long
    Dim vaRes() As Variant

    ' make sure we are ready
    Debug.Assert Not m_ipPoints Is Nothing
    Debug.Assert Not m_ipGeometricNetwork Is Nothing

    ' instantiate a trace flow solver
    Set ipTraceFlowSolver = New TraceFlowSolver

    ' get the INetSolver interface
    Set ipNetSolver = ipTraceFlowSolver

    ' set the source network to solve on
    Set ipNetwork = m_ipGeometricNetwork.Network
    Set ipNetSolver.SourceNetwork = ipNetwork

    ' make edge flags from the points

    ' the INetElements interface is needed to get UserID, UserClassID,
    ' and UserSubID from an element id
    Set ipNetElements = ipNetwork

    ' get the count
    intCount = m_ipPoints.PointCount
    Debug.Assert intCount > 1

    ' dimension our IEdgeFlag array
    ReDim ipaNetFlag(intCount)

    For i = 0 To intCount - 1

```

```

' make a new Edge Flag
Set ipNetFlag = New EdgeFlag
Set ipEdgePoint = m_ipPoints.Point(i)
' look up the EID for the current point (this will populate intEdgeID and dblEdgePercent)
m_ipPointToEID.GetNearestEdge ipEdgePoint, intEdgeID, ipFoundEdgePoint, dblEdgePercent
Debug.Assert intEdgeID > 0 ' else Point (eid) not found
ipNetElements.QueryIDs intEdgeID, esriETEdge, intEdgeUserClassID, intEdgeUserID,
intEdgeUserSubID
Debug.Assert (intEdgeUserClassID > 0) And (intEdgeUserID > 0) ' else Point not found
ipNetFlag.UserClassID = intEdgeUserClassID
ipNetFlag.UserID = intEdgeUserID
ipNetFlag.UserSubID = intEdgeUserSubID
Set ipNetFlag(i) = ipNetFlag
Next

' add these edge flags
ipTraceFlowSolver.PutEdgeOrigins intCount, ipNetFlag(0)

' set the weight (cost field) to solve on

' get the INetSchema interface
Set ipNetSchema = ipNetwork
Set ipNetWeight = ipNetSchema.WeightByName(WeightName)
Debug.Assert Not ipNetWeight Is Nothing

' set the weight (use the same for both directions)
Set ipNetSolverWeights = ipTraceFlowSolver
Set ipNetSolverWeights.FromToEdgeWeight = ipNetWeight
Set ipNetSolverWeights.ToFromEdgeWeight = ipNetWeight

' initialize array for results to number of segments in result
ReDim vaRes(intCount - 1)

' solve it
ipTraceFlowSolver.FindPath esriFMConnected, esriSPObjFnMinSum, m_ipEnumNetEID_Junctions,
m_ipEnumNetEID_Edges, intCount - 1, vaRes(0)

' compute total cost
m_dblPathCost = 0
For i = LBound(vaRes) To UBound(vaRes)
    m_dblPathCost = m_dblPathCost + vaRes(i)
Next

' clear the last polyline result
Set m_ipPolyline = Nothing
End Sub

' Property to get the cost
Public Property Get PathCost() As Double
    PathCost = m_dblPathCost
End Property

' Property to get the shape
Public Property Get PathPolyLine() As IPolyline

    Dim ipEIDHelper As IEIDHelper
    Dim count As Long, i As Long
    Dim ipEIDInfo As IEIDInfo
    Dim ipEnumEIDInfo As IEnumEIDInfo
    Dim ipGeometry As IGeometry
    Dim ipNewGeometryColl As IGeometryCollection
    Dim ipSpatialReference As ISpatialReference

    ' if the line is already computed since the last path, just return it
    If Not m_ipPolyline Is Nothing Then
        Set PathPolyLine = m_ipPolyline
        Exit Property
    End If

    Set m_ipPolyline = New Polyline
    Set ipNewGeometryColl = m_ipPolyline

    ' a path should be solved first
    Debug.Assert Not m_ipEnumNetEID_Edges Is Nothing

```



```

' make an EIDHelper object to translate edges to geometric features
Set ipEIDHelper = New EIDHelper
Set ipEIDHelper.GeometricNetwork = m_ipGeometricNetwork
Set ipSpatialReference = m_ipMap.SpatialReference
Set ipEIDHelper.OutputSpatialReference = ipSpatialReference
ipEIDHelper.ReturnGeometries = True

' get the details using the IEIDHelper classes
Set ipEnumEIDInfo = ipEIDHelper.CreateEnumEIDInfo(m_ipEnumNetEID_Edges)
count = ipEnumEIDInfo.count

' set the iterator to beginning
ipEnumEIDInfo.Reset

For i = 1 To count

    ' get the next EID and a copy of its geometry (it makes a Clone)
    Set ipEIDInfo = ipEnumEIDInfo.Next
    Set ipGeometry = ipEIDInfo.Geometry

    ipNewGeometryColl.AddGeometryCollection ipGeometry

Next ' EID

' return the merged geometry as a Polyline
Set PathPolyLine = m_ipPolyline

End Property

' Private

Private Sub CloseWorkspace()
    ' make sure we let go of everything and start with new results
    Set m_ipGeometricNetwork = Nothing
    Set m_ipPoints = Nothing
    Set m_ipPointToEID = Nothing
    Set m_ipEnumNetEID_Junctions = Nothing
    Set m_ipEnumNetEID_Edges = Nothing
    Set m_ipPolyline = Nothing
End Sub

Public Sub SolvePathFromJunctionFlags(WeightName As String)

Dim ipNetwork As INetwork
Dim ipTraceFlowSolver As ITraceFlowSolver
Dim ipNetSolver As INetSolver
Dim ipNetFlag As INetFlag
Dim ipaNetFlag() As IJunctionFlag
Dim ipEdgePoint As IPoint
Dim ipNetElements As INetElements
Dim intEdgeUserClassID As Long
Dim intEdgeUserID As Long
Dim intEdgeUserSubID As Long
Dim intEdgeID As Long
Dim ipFoundEdgePoint As IPoint
Dim dblEdgePercent As Double
Dim ipNetWeight As INetWeight
Dim ipNetSolverWeights As INetSolverWeights
Dim ipNetSchema As INetSchema
Dim intCount As Long
Dim i As Long
Dim vaRes() As Variant

' make sure we are ready
Debug.Assert Not m_ipPoints Is Nothing
Debug.Assert Not m_ipGeometricNetwork Is Nothing

' instantiate a trace flow solver
Set ipTraceFlowSolver = New TraceFlowSolver

' get the INetSolver interface
Set ipNetSolver = ipTraceFlowSolver

' set the source network to solve on
Set ipNetwork = m_ipGeometricNetwork.Network
Set ipNetSolver.SourceNetwork = ipNetwork

```

```

' make edge flags from the points

' the INetElements interface is needed to get UserID, UserClassID,
' and UserSubID from an element id
Set ipNetElements = ipNetwork

' get the count
intCount = m_ipPoints.PointCount
Debug.Assert intCount > 1

' dimension our IEdgeFlag array
ReDim ipaNetFlag(intCount)

For i = 0 To intCount - 1
' make a new Edge Flag
Set ipNetFlag = New JunctionFlag
Set ipEdgePoint = m_ipPoints.Point(i)
' look up the EID for the current point (this will populate intEdgeID and dblEdgePercent)
m_ipPointToEID.GetNearestJunction ipEdgePoint, intEdgeID, ipFoundEdgePoint
Debug.Assert intEdgeID > 0 ' else Point (eid) not found
ipNetElements.QueryIDs intEdgeID, esriETJunction, intEdgeUserClassID, intEdgeUserID,
intEdgeUserSubID
Debug.Assert (intEdgeUserClassID > 0) And (intEdgeUserID > 0) ' else Point Not found
ipNetFlag.UserClassID = intEdgeUserClassID
ipNetFlag.UserID = intEdgeUserID
ipNetFlag.UserSubID = intEdgeUserSubID
Set ipaNetFlag(i) = ipNetFlag
Next

' add these edge flags
ipTraceFlowSolver.PutJunctionOrigins intCount, ipaNetFlag(0)

' set the weight (cost field) to solve on

' get the INetSchema interface
Set ipNetSchema = ipNetwork
Set ipNetWeight = ipNetSchema.WeightByName(WeightName)
'Debug.Assert Not ipNetWeight Is Nothing

' set the weight (use the same for both directions)
Set ipNetSolverWeights = ipTraceFlowSolver
Set ipNetSolverWeights.FromToEdgeWeight = ipNetWeight
Set ipNetSolverWeights.ToFromEdgeWeight = ipNetWeight

' initialize array for results to number of segments in result
ReDim vaRes(intCount - 1)

' solve it
ipTraceFlowSolver.FindPath esriFMConnected, esriSPObjFnMinSum, m_ipEnumNetEID_Junctions,
m_ipEnumNetEID_Edges, intCount - 1, vaRes(0)

' compute total cost
m_dblPathCost = 0
For i = LBound(vaRes) To UBound(vaRes)
m_dblPathCost = m_dblPathCost + vaRes(i)
Next

' clear the last polyline result
Set m_ipPolyline = Nothing

End Sub

Private Function InitializeNetworkAndMap(FeatureDataset As IFeatureDataset) As Boolean

Dim ipNetworkCollection As INetworkCollection
Dim ipNetwork As INetwork
Dim count As Long, i As Long
Dim ipFeatureClassContainer As IFeatureClassContainer
Dim ipFeatureClass As IFeatureClass
Dim ipGeoDataset As IGeoDataset
Dim ipLayer As ILayer
Dim ipFeatureLayer As IFeatureLayer
Dim ipEnvelope As IEnvelope, ipMaxEnvelope As IEnvelope
Dim dblSearchTol As Double
Dim dblWidth As Double, dblHeight As Double

```

```

On Error GoTo Trouble

' get the networks
Set ipNetworkCollection = FeatureDataset

' even though a FeatureDataset can have many networks, we'll just
' assume the first one (otherwise you would pass the network name in, etc.)

' get the count of networks
count = ipNetworkCollection.GeometricNetworkCount

Debug.Assert count > 0 ' then Exception.Create('No networks found');

' get the first Geometric Network (0 - based)
Set m_ipGeometricNetwork = ipNetworkCollection.GeometricNetwork(0)

' get the Network
Set ipNetwork = m_ipGeometricNetwork.Network

' The EID Helper class that converts points to EIDs needs a
' IMap, so we'll need one around with all our layers added.
' This Pathfinder object has an optional Map property than may be set
' before opening the Network.
If m_ipMap Is Nothing Then
    Set m_ipMap = New Map

    ' Add each of the Feature Classes in this Geometric Network as a map Layer
    Set ipFeatureClassContainer = m_ipGeometricNetwork
    count = ipFeatureClassContainer.ClassCount
    Debug.Assert count > 0 ' then Exception.Create('No (network) feature classes found');

    For i = 0 To count - 1
        ' get the feature class
        Set ipFeatureClass = ipFeatureClassContainer.Class(i)
        ' make a layer
        Set ipFeatureLayer = New FeatureLayer
        Set ipFeatureLayer.FeatureClass = ipFeatureClass
        ' add layer to the map
        m_ipMap.AddLayer ipFeatureLayer
    Next
End If ' we needed to make a Map

' Calculate point snap tolerance as 1/100 of map width.
count = m_ipMap.LayerCount
Set ipMaxEnvelope = New Envelope
For i = 0 To count - 1
    Set ipLayer = m_ipMap.Layer(i)
    Set ipFeatureLayer = ipLayer
    ' get its dimensions (for setting search tolerance)
    Set ipGeoDataset = ipFeatureLayer
    Set ipEnvelope = ipGeoDataset.Extent
    ' merge with max dimensions
    ipMaxEnvelope.Union ipEnvelope
Next

' finally, we can set up the IPointToEID ...
Set m_ipPointToEID = New PointToEID
Set m_ipPointToEID.SourceMap = m_ipMap
Set m_ipPointToEID.GeometricNetwork = m_ipGeometricNetwork

' set snap tolerance
dblWidth = ipMaxEnvelope.Width
dblHeight = ipMaxEnvelope.Height

If dblWidth > dblHeight Then
    dblSearchTol = dblWidth / 100#
Else
    dblSearchTol = dblHeight / 100#
End If

m_ipPointToEID.SnapTolerance = dblSearchTol

InitializeNetworkAndMap = True ' good to go
Exit Function

Trouble:
InitializeNetworkAndMap = False ' we had an error

```


End Function

Private Sub Class_Initialize()
End

Annexe 13 : Représentation du trafic ferroviaire total

Création d'une nouvelle couche et de nouvelles colonnes :

- copie de la couche des tronçons comprenant les volumes de trafic transalpins (« trafic_ferroviaire_transalpin_ok ») on obtient : « trafic_ferroviaire_total_ok »
- une jointure²⁰ est fait entre la couche des tronçons (avec noda et nodb) et la couche des nœuds (« NoeudsFerroVAccroches_ok ») afin d'avoir le nom des nœuds figurant dans la couche tronçon
- ajout des colonnes suivantes dans la couche tronçons :
nbtrain_voy_jour, nbtrain_ms_jour, nbtrain_ms_nuit, train_voy_nuit
(nbtrain_ms_an, nbtrain_voy_an, tot_trains_ms, tot_train_voy, % tms_nuit, % tms_jour, % tvoy_nuit, % tvoy_jour)
- la valeur 0 est mise dans chacune des colonnes créées : « calculate value » = 0

Création de données à partir des horaires graphiques :

Les données des horaires graphiques des CFF de 2002-2003²¹ sont utilisées afin d'obtenir le trafic ferroviaire total (voyageurs et marchandises).

Un jour ouvrable représentatif (mardi) ainsi qu'une tranche horaire représentative du trafic diurne (15h-16h) et une tranche horaire représentative du trafic nocturne (24h-1h) sont choisis pour estimer le trafic ferroviaire total les jours ouvrables. La distinction du trafic diurne et nocturne apparaît intéressante étant donné que les proportions entre les trains circulant le jour et la nuit peuvent être très différentes²².

A partir des horaires graphiques, le nombre de trains marchandises et le nombre de train voyageurs circulant le mardi durant les deux tranches horaires choisies et dans chaque sens sont comptés et notés²³. Ces valeurs obtenues sont ensuite multipliées par 8 pour la nuit (nuit de 22h à 6h) et par 16 pour le jour (6h à 22h) puis par 264 (nombre de jours ouvrables) afin d'obtenir des données annuelles (moyennes).

Précisions des données créées :

Il est possible que certaines imprécisions soient observées au niveau des intersections où des données peuvent être dédoublées. Ces imprécisions peuvent être corrigée par un découpage plus fin du réseau et par une numérisation plus fine des données.

Vérification des données créées :

Dans l'objectif de vérifier la validité des données relatives au trafic ferroviaire total, les données diurne et nocturne sont additionnées et le trafic transalpin de marchandises est déduit de ce trafic total. Les données du trafic total sont validées si les valeurs obtenues sont positives.

Pour cela, une jointure est faite entre la couche représentant le trafic ferroviaire transalpin (« trafic_ferroviaire_transalpin » / champ : tronconF_id) et la couche représentant le trafic ferroviaire total (« trafic_ferroviaire_total_ok »).

Les données résultant de la jointure sont exportées (« Data », « export data ») et on obtient Join_donnees_ferroviaires_ok

Une fois la nouvelle couche obtenue, la jointure est annulée (« remove join »).

Une nouvelle colonne « tmsCH_tmA » est créée (« add field ») dans la couche résultant de la jointure (Join_donnees_ferroviaires_ok). Cette colonne est calculée de la manière suivante :

(trafic total diurne + trafic total nocturne) – trafic transalpin²⁴

Les tronçons dont la valeur est inférieure ou égale à -1 sont sélectionnés (« Select by attributs », Join_donnees_ferroviaires_ok, WHERE: [tmsCH_tmsA] <= -1). 98 tronçons sont sélectionnés.

Correction de la base de données :

Compte tenu des résultats obtenus, des corrections sont apportées aux données d'origine.

Copie des données originelles. On obtient : « troncons_ferrov_jouvrables99_modifie » ; « nœuds_ferroviaire_modifie ».

Dans la couche des tronçons les valeurs relatives aux tronçons suivants sont corrigées :

- Bâle – Pratteln
- Burgdorf – Thun (via Berne)
- Balerna – Chiasso
- Hütswangen – Will - Schaffhausen
- Schaffhausen – Konstanz/Singen
- Zürich – Cham
- Zürich – Arth-Goldau
- Zürich - Sihlbrugg
- Aarau – Suhr (via Rapperswil)
- Brugg - Othmarsingen

Un certain nombre de tronçon sont ajoutés afin d'avoir un enregistrement relatif à chaque sens de circulation.

Deux nœuds sont également ajoutés entre Burgdorf et Berne :

- Zollikofen
- Mattstetten

Une fois que certaines valeurs de la base de données sont corrigées, le script permettant de représenté le trafic transalpin de marchandises est relancé et la couche contenant les données relatives au trafic total est complétée.

²⁰ Dans ArcMap, une jointure peut être faite entre deux couches en sélectionnant un champ dans chacune de ces couches.

²¹ Ces horaires graphiques sont disponibles au LITEP et présentent peu de différence avec les horaires graphiques de 2000-2001, données plus intéressantes pour le LITEP

²² Toutefois, généralement les trains voyageurs circulent davantage durant la journée alors que les trains marchandises circulent davantage durant la nuit.

²³ Les trains sont comptés en fonction des horaires planifiés. Les trains voyageurs (n° : 1-19999) et marchandises (n° : 40000-46999 ; 49000-55999 ; 60000-65999 ; 70000-75999 ; 80000-85999 ; 90000-95999) circulant régulièrement le mardi et les trains facultatifs sont considérés et les trains de locomotives et les trains de service ne le sont pas.

²⁴ [nbtrain_ms_jour]+ [nbtrain_ms_nuit]- [F_nbtrain_jour]

La couche « trafic_ferroviaire_total_ok » de la base de données « troncons_resultant » et du jeu de données « trafic_ferroviaire_ok » (du script « représentation du trafic routier et ferroviaire transalpin de marchandises ») est exportée dans la base de données BD_ALPSIG et le jeu de données « Rail ».

On obtient : TrafficFerroviaireTotal
sous C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\BD_ALPSIG.mdb\Rail

Ajout et calcul de ces nouveaux champs de telle manière que (cf. Modèle « TraitementDonneesRail2 ») :

nombre de trains marchandises par jour (ouvrable) = NbTmsJ
nombre de trains voyageurs par jour (ouvrable) = NbTvoyJ
nombre de trains marchandises par nuit = NbTmsN
nombre de trains voyageurs par nuit = NbTvoyN
nombre de trains total par jour (de 6h à 22h) = NbT0622
nombre de trains total par nuit (de 22h à 6h) = NbT2206

Calcul des tonnes brutes et des données annuelles :

Selon les hypothèses émises dans le cadre de ce travail, un train marchandises pèse en moyenne 980 tonnes.

Les champs suivants sont ajoutés et calculés :

ToBrutJ = NbTmsJ * 980
ToBrutN = NbTmsN * 980
ToBrutJN = ToBrutJ + ToBrutN
NbTmsJAn = NbTmsJ * 264
NbTmsNAn = NbTmsN * 264
NbTvoyJan = NbTvoyJ * 264
NbTvoyNAn = NbTvoyN * 264
NbT0622An = NbT0622 * 264
NbT2206An = NbT2206 * 264
ToBrutJAn = ToBrutJ * 264
ToBrutNAn = ToBrutN * 264

Calcul de la déclivité des tronçons ferroviaires :

Ajout de l'altitude :

La couche nœuds contient un attribut relatif à l'altitude. Dans l'objectif de calculer la déclivité des différents tronçons de la couche tronçons, l'altitude relative au NOD_a et au NOD_b doit être importée dans la couche représentant les tronçons.

Dans un projet ArcMap (.mxd), une jointure est réalisée à partir de la table tronçon (« TrafficFerroviaireTotal ») vers la couche nœuds (« NoeudsFerroVaccroches_ok »): bouton droit, « joins and relates », « join »²⁵.

La table résultant de la jointure est sauveée (bouton droit, « data », « export ») au même endroit que la couche tronçons. On obtient : TrafficFerroviaireTotalA

Le lien entre les deux couches est supprimé : « joins and relates », « remove join ».

Cf. Modèle « TraitementDonneesRail3 » (1-9)

De nouveaux champs sont ajoutés dans la nouvelle couche (« TrafficFerroviaireTotalA »):

NOM_A, X_A, Y_A, Elevation_A

La valeur de ces champs est calculée = NOM_A = NOM

X_A = X

Y_A = Y

Elevation_A = Elevation

Les champs d'origine sont supprimés: Nom, X, Y, Elevation.

Après avoir associée une valeur relative à l'altitude du NOD_a, une valeur doit être associée au NOD_b.

Pour cela, une jointure²⁶ est faite à partir de la couche tronçons (« TrafficFerroviaireTotalA »).

La table résultant de la jointure est sauveée (bouton droit, « data », « export ») au même endroit que la couche tronçons. On obtient : TrafficFerroviaireTotalAB

Le lien entre les deux couches est supprimé : « joins and relates », « remove join ».

Cf. Modèle « TraitementDonneesRail3 » (10-18)

Les champs suivants sont ajoutés et calculés: NOM_B, X_B, Y_B, Elevation_B.

Calcul de la déclivité :

Cf. Modèle « TraitementDonneesRail3 » (19-20)

Dans la table tronçons (« TrafficFerroviaireTotalAB ») une colonne « PenteAversB » est ajoutée (« Add field »: double, autoriser valeurs nulles, valeur par défaut 0).

La valeur de ce champ est calculée de la manière suivante (l'altitude ainsi que la distance sont en mètres) :

Pente en % = (altitude nodb - altitude noda) / (distance * 100)

PenteAversB = ([Elevation_B] - [Elevation_A]) / [SHAPE_Length] * 100²⁷

Classes de déclivité :

²⁵ join attributes from a table, A_Noda, NoeudsFerroVaccroches_ok, NOD_F

²⁶ Avec les champs A_Nodb et NOD_F.

²⁷ écriture dans ArcGIS

Cf. Modèle « TraitementDonneesRail3 » (21)

Ajout d'une colonne « ClassePente » (double) dans la couche tronçon (« TraficFerroviaireTotal AB »).

Cf. Modèle « TraitementDonneesRail3 » (21-34)

Les tronçons sont sélectionnés en fonction de leur déclivité (« Select by attributes ») et une classe de déclivité leur est associée. Les différentes sélections et classes de déclivité associées sont présentées dans le tableau ci-dessous.

La valeur du champ « classe pente » est égale à 0 pour les déclivités se trouvant entre [-1 et 1[(valeurs en %).

Calculate ClassePente	Select by attributes
0	[PenteAversB] >=-1 AND [PenteAversB] <1
2	[PenteAversB] >=1 AND [PenteAversB] <3
4	[PenteAversB] >=3 AND [PenteAversB] <5
6	[PenteAversB] >=5
-2	[PenteAversB] >=-3 AND [PenteAversB] <-1
-4	[PenteAversB] >=-5 AND [PenteAversB] <-3
-6	[PenteAversB] <-5

Annexe 14 : Représentation du trafic routier total

Les données :

Les données du comptage suisse de la circulation routière se composent de deux tables, l'une contenant les données relatives à chaque poste de comptage (ZAEHLSTELLEN – table « postes de comptage ») et l'autre contenant les données relatives au trafic (DATENSSVZ00 – table « données trafic »).

Ces dernières distinguent les différentes catégories de véhicule, les immatriculations, le type de jour et les heures de la journée (DATENSSVZ00) :

Catégories de véhicule (« Catégorie »):

MC = Motocycles (Motorräder)

PW = Voitures de tourisme (Personenwagen)

CA = Cars, bus (Cars, Busse)

LF = Voitures de livraison (Lieferwagen)

LW = Camions (Lastwagen)

LS = Trains routiers (Last- und Sattelzüge)

Les catégories LW et LS sont par la suite regroupées dans une catégorie PLM (poids lourds marchandises).

Immatriculation (« Immatriculation »):

I = Suisse (Inland)

A = Etranger (Ausland)

Type de jour (« Type_jour »):

T = tous les jours

W = jour ouvrable (Werktag)

SA = samedi (Samstag)

SO = dimanche et jours fériés (Sonn- und Feiertage)

Heures de la journée:

h01 = valeur heure 1

h02 = valeur heure 2

...

Représentation des postes de comptage (ZAEHLSTELLEN):

Dans Access :

- Importation de la table relative aux postes de comptage dans la base de données « BaseDeDonnees_07.03.05.mdb »
- Suppression du dernier enregistrement « La Chaux-de-Fond » dont les coordonnées sont égales à 0

Dans ArcCatalog :

- Exporter la table vers la base de données « ALPSIG » (attention : ne pas mettre d'espace dans le nom de la nouvelle table)
- Création d'une couche (shapefile / .shp) avec les coordonnées x et y de la table
- Suppression de la table de la base de données « ALPSIG »
- Exporter la couche vers la base de données « ALPSIG »

Traitement des données de base dans Access :

Dans Access quatre requêtes sont effectuées afin d'obtenir :

- le trafic les jours ouvrables (Typ = W) ;
- durant les périodes diurne (6h – 22h / h06_22) et nocturne (22h-6h / h22_06) ;
- pour les différentes catégories de véhicules.

- Requête 1 :

Trafic jour/nuit des différentes catégories aux différents postes de comptage

Requête : requete_trafic_routier_CH_categories:

```
SELECT      Trafic_comptages_suisses.Numero_poste,      Trafic_comptages_suisses.Categorie,
Sum(h06+h07+h08+h09+h10+h11+h12+h13+h14+h15+h16+h17+h18+h19+h20+h21) AS h06_22,
Sum(h22+h23+h24+h01+h02+h03+h04+h05) AS h22_06
FROM Trafic_comptages_suisses
WHERE      (((Trafic_comptages_suisses.Categorie)="LW" Or
(Trafic_comptages_suisses.Categorie)="LS" Or (Trafic_comptages_suisses.Categorie)="LF"
Or
(Trafic_comptages_suisses.Categorie)="PW" Or
(Trafic_comptages_suisses.Categorie)="CA" Or (Trafic_comptages_suisses.Categorie)="MR")
AND ((Trafic_comptages_suisses.Type_jour)="W"))
GROUP BY Trafic_comptages_suisses.Numero_poste, Trafic_comptages_suisses.Categorie;
```

- Requête 2 et 3 (2 requêtes Analyse Croisée):

Trafic diurne des différentes catégories aux différents postes de comptage

Requête : requete_trafic_routier_CH_categories_06_22:

```
TRANSFORM Sum(requete_trafic_routier_CH_categories.h06_22) AS SommeDeh06_22
SELECT requete_trafic_routier_CH_categories.Numero_poste
FROM requete_trafic_routier_CH_categories
GROUP BY requete_trafic_routier_CH_categories.Numero_poste
PIVOT requete_trafic_routier_CH_categories.Categorie;
```

Trafic nocturne des différentes catégories aux différents postes de comptage

Requête : requete_trafic_routier_CH_categories_22_06:

```
TRANSFORM Sum(requete_trafic_routier_CH_categories.h22_06) AS SommeDeh22_06
SELECT requete_trafic_routier_CH_categories.Numero_poste
FROM requete_trafic_routier_CH_categories
```



```
GROUP BY requete_trafic_routier_CH_categories.Numero_poste
PIVOT requete_trafic_routier_CH_categories.Categorie;
```

L'une après l'autre, ces requêtes sont exportées dans Excel et réimportées sous forme de table : trafic_routier_CH_categories_06_22
trafic_routier_CH_categories_22_06

Changement du nom des en-têtes de colonne (ajout de _06_22 et de _22_06).

Mise en relation de ces deux tables avec la table « Postes de comptage » au moyen du Numéro du poste.

- Requête 4 :

Requête : requete_trafic_routier_CH_categories_ok

```
SELECT
    trafic_routier_CH_categories_06_22.CA_06_22,
    trafic_routier_CH_categories_06_22.LF_06_22,
    trafic_routier_CH_categories_06_22.LS_06_22,
    trafic_routier_CH_categories_06_22.LW_06_22,
    trafic_routier_CH_categories_06_22.MR_06_22,
    trafic_routier_CH_categories_06_22.PW_06_22,
    trafic_routier_CH_categories_22_06.CA_22_06,
    trafic_routier_CH_categories_22_06.LF_22_06,
    trafic_routier_CH_categories_22_06.LS_22_06,
    trafic_routier_CH_categories_22_06.LW_22_06,
    trafic_routier_CH_categories_22_06.MR_22_06,
    trafic_routier_CH_categories_22_06.PW_22_06
FROM (postes_de_comptage INNER JOIN trafic_routier_CH_categories_22_06 ON
postes_de_comptage.Numero_poste = trafic_routier_CH_categories_22_06.Numero_poste) INNER
JOIN trafic_routier_CH_categories_06_22 ON postes_de_comptage.Numero_poste =
trafic_routier_CH_categories_06_22.Numero_poste;
```

Une requête simple est effectuée entre les deux tables.

L'ensemble des champs intéressants dans les deux tables plus le numéro du poste de l'une d'elle sont sélectionnés.

Exportation et importation de cette requête via Excel et on l'enregistre dans la table :

trafic_routier_CH_categories_ok

Attribution des données aux différents tronçons :

- Dans ArcMap, une jointure est faite entre la table postes de comptage (Postes_de_comptage) et la table données trafic (trafic_routier_CH_categories_ok de la BaseDeDonnees_07.03.05) avec le numéro du poste (Numero_poste)
Ces données sont exportées (« Data », « export data »)
On obtient PostesDeComptageOk
- Dans cette couche, le trafic journalier moyen (TJM) de nuit et de jour est calculé (attention : trafic dans les deux sens !!!):
TJM_06_22 =
[CA_06_22] + [LF_06_22] + [LS_06_22] + [LW_06_22] + [MR_06_22] + [PW_06_22]
TJM_22_06 =
[CA_22_06] + [LF_22_06] + [LS_22_06] + [LW_22_06] + [MR_22_06] + [PW_22_06]

Un script écrit dans ArcGIS (Visual Basic Editor) (conception : Raphaëlle Arnaud et Holger Heisig ; développement : Holger Heisig ; langage VBA) permet d'associer les valeurs de TJM des postes de comptage aux différents tronçons routiers pris en compte.

Ce script attribue aux différents tronçons situés à proximité d'un poste de comptage la valeur de TJM correspondante. Puis, l'ensemble des jonctions sont analysées afin de voir si elles délimitent un tronçon possédant une valeur de TJM. Si c'est le cas la même valeur de TJM est attribuée au tronçon suivant.

Pour faire fonctionner ce script :

- Exportation des couches postes de comptage (« PostesDeComptageOk ») et tronçons (« ReseauRoutierOk10 ») de la base de données BD_ALPSIG vers le workspace (espace de travail) ALPSIG_ws afin d'avoir des classes d'objets sous forme de shapefiles.
- Accrochage des postes de comptage (« PostesDeComptageOk.shp ») au réseau ou tronçons (« ReseauRoutierOk10.shp ») au moyen du script « Accrocher des points à des lignes » (tolérance : 50).
Etant donné la bonne correspondance entre ces deux jeux de données, l'accrochage des postes de comptage n'est pas fait en fonction des différentes catégories de routes.
444 postes de comptage sont accrochés sur 472. Afin de vérifier que les 27 postes de comptage non accrochés sont situés sur d'autres routes, une jointure est faite à partir de la couche postes de comptage (« PostesDeComptageOk » - champ : nom) et avec la couche postes de comptage accrochés (« PostesDeComptageOkAccroches » - champ : nom). Sélection des postes de comptages (« PostesDeComptageOk ») où les postes de comptage accrochés (« PostesDeComptageOkAccroches.TJM_total ») sont supérieures ou égales à 0 (≥ 0). En inversant la sélection (« Switch selection », les 27 postes en question sont sélectionnés.
- Sélection des différentes catégories de routes (0 et 1, 2, 3 et 4) de la couche tronçons (« ReseauRoutierOk10 ») : « Select by attributes », "FRC" = 0 OR "FRC" = 1, « data », « export » (selected feature), etc. On obtient : Routes01, Routes2, Routes34
- Pour chaque groupe de routes, on fait une jointure spatiale (Spatial Join) :
- Ex. : Routes01, « Join », « spatial... », PostesDeComptageOkAccroches, « intersected by it », average, on obtient Routes01Join.
Lors de cette opération, un nouveau champ est ajouté : count_1 (nombre de postes de comptage accrochés)²⁸.
- On obtient : Routes2Join, Routes34Join (dans BD_ALPSIG)
- Exportation de la couche postes de comptage (« PostesDeComptageOkAccroches ») dans BD_ALPSIG
- Exportation des couches Routes01Join, Routes2Join, Routes34Join (« export to shapefile ») sous : C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\SCRIPT_3\TraficRoutierTotal_SIG\ALPSIG_ws\SCRIPT_3\TraficRoutierTotal\TraficRoutierTotal.mdb\Routes
- Dans le projet ArcMap (.mxd) « script3 », les tables Routes01Join.shp, Routes2Join.shp, Routes34Join.shp sont ouvertes afin de créer une nouvelle colonne « value_from » (long Integer). Cette colonne va contenir l'objectID du tronçon où la valeur de TJM est prise. (En mode éditeur, on calcule la valeur 0 pour cette colonne.)

²⁸ « a count field is added... »

- Exportation de la couche postes de comptage (« PostesDeComptageOkAccroches ») de BD_ALPSIG et des couches Routes01Join.shp, Routes2Join.shp, Routes34Join.shp de SCRIPT_3\TraficRoutierTotal sous : C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\SCRIPT_3\TraficRoutierTotal\TraficRoutierTotal.mdb\Routes
 - Trois nouveaux réseaux (geometric network)²⁹ sont créés avec les couches Routes01Join, Routes2Join, Routes34Join : Routes01_Net (129 invalid features), Routes2_Net (61 invalid features), Routes34_Net (21 invalid features).
 - Pour chaque groupe de routes, les éléments dont le « count_1 » > 0 sont sélectionnés. Ouvrir une session d'édition (« Start editing »). Pour ces éléments, la valeur de l'objectID est copié dans le champ « value_from » (value_from, calculate value = objectID). Ainsi pour tout « count_1 » non null on a une valeur dans le champ « value_from ».
 - Le script est alors exécuté pour les différents groupes de routes.
 - Afin que le script fonctionne, la couche tronçon (réseau/routes) doit être placé en premier (en haut) et la couche des postes de comptage en deuxième.
Le script sélectionne les éléments où la valeur du champ « ValueFrom » est égale à 0 (fonction « pForward.FindAdjacent... ») et associe l'objectID des tronçons adjacents si ils ont une même catégorie de route (FRC). Cette boucle (Do While) procède jonction par jonction. Si il y a plus de 3 tronçons au niveau de la jonction, seuls 3 seront traités (« If IEdgecount >= 3 ») à la fois et le script exécute la boucle jusqu'à ce que le nombre de tronçons sélectionnés soit égal au maximum.
 - Aller dans « Tool », « Macro », « VB editor », « This Document » et on clique sur la flèche. La première fois que la boucle est parcourue, une fenêtre signale le nombre de tronçons traité. Cliquer sur « Ok » et attendre la fin du traitement. Durant le traitement de moins en moins d'éléments sont sélectionnés et le processus est de plus en plus long.
- Pour les tronçons où aucune valeur de trafic n'est attribuée après avoir fait fonctionner le script :
- Les couches Route01, Routes2 et Routes34 sont exportées sous C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\SCRIPT_3\TraficRoutierTotal\TraficRoutierTotal.mdb\Routes
- Pour chacun des groupes de routes (ex. : avec Routes01):
- les tronçons ayant une valeur de trafic sont identifiés : « Select by attributes » (ex. : Routes01Join, Avg_Numéro > 0), « data », « export data » (selected feature)
On obtient : Routes01JoinOk (ex. : pour la couche Routes01, 137 tronçons sur 5789 ont des valeurs provenant directement des postes de comptage – « intersect » avant de faire fonctionner le script).
 - Afin de récupérer les valeurs provenant du script, il est nécessaire de faire une jointure à partir de la couche « Routes01Join » (champ : « value_from ») dont des valeurs sont introduites par le script, et la couche « Routes01JoinOk » (champ : « OBJECTID ») qui contient les valeurs de trafic pour chaque objectid en question.
On obtient : Routes01Ok (valeur « null » uniquement pour les enregistrements dont le champ « value_from » est égale 0 (1967 enregistrements sur 5789).
Suppression de la jointure (« remove join »)
 - La même chose est réalisée avec les couches Routes2Join (on obtient : Routes2Ok), et Routes34 (on obtient : Routes34Ok).
- Pour chaque groupe de route :
- cf. Modèle « TraitementDonneesRoutes3FRC01 »
 - Exportation de la couche Routes01Ok vers le scratch_ws (1)
 - Suppression des champs inutiles (2)
 - La couche Routes01Ok est renommée Routes01Ok_ (3)
 - Exportation de la couche Routes01Ok vers la base de données du script 3 (4)
 - Création d'une couche contenant les tronçons qui possèdent des valeurs de trafic: « Select by attributes »: Routes01Ok_, « value_from » > 0 (20562 sur 31787), « data », « export data »
On obtient : Routes01Ok_vf
 - Création d'une couche contenant les tronçons ne possédant pas de valeur de trafic: inversion de la sélection (« Switch selection ») et exportation des données (« data », « export data »)
On obtient : Routes01Ok_0
 - Attribution des valeurs des tronçons ayant une valeur de trafic aux différentes jonctions : A partir de la couche Routes01_Net_Junctions on fait une jointure spatiale (spatial join) : Routes01Ok_vf, « Each points will be given all the attributes of the lines that is closest to it... »
On obtient : Routes01Junctions_vf
 - Attribution des valeurs des différentes jonctions aux tronçons n'ayant pas de valeur de trafic : une jointure spatiale (spatial join) est fait à partir de la couche Routes01Ok_0 : Routes01Junctions_vf, « Each lines will be given a summary of the numeric attributes of the points that are closest to it (average) »
On obtient : Route01Ok0_vf
 - Suppression des champs inutiles (5)
 - Afin de regrouper l'ensemble des valeurs une jointure est faite à partir de la couche Routes01Ok_ (champ : OBJECTID) avec la couche Routes01Ok0_vf (champ : OBJECTID)
Les données résultant de la jointure sont exportées : « data », « export data »
On obtient: TraficRoutierTotal01
La jointure est supprimée (« remove the join »)
 - Certaines corrections sont apportées à la couche finale (6-22)
On obtient : TraficRoutierTotal01
 - La même chose est faite avec les Routes2Ok (Modèle « TraitementDonneesRoutes3FRC2 » ; on obtient TraficRoutierTotal2), et Routes34Ok (Modèle « TraitementDonneesRoutes3FRC34 » ; on obtient : TraficRoutierTotal34).
- Les résultats sont assemblés (TraficRoutierTotal01, TraficRoutierTotal2, TraficRoutierTotal34) : cf. modèle « TraitementDonneesRoutes3Final » (1)
On obtient : TraficRoutierTotal01234Corr2

L'algorithme :

« This document » :

²⁹ Options par défaut

```

Sub MainProg()

Dim pID As IUID
Set pID = New UID
pID = "esriCore.Editor"
Dim pEditor As IEditor
Set pEditor = Application.FindExtensionByCLSID(pID)

Dim pGeometricNetwork As IGeometricNetwork
Dim pNetwork As INetwork

Set pGeometricNetwork = GetNetwork()
Set pNetwork = pGeometricNetwork.Network

'Dim longEdgeCount As Long
Dim longJunctionCount As Long
'longEdgeCount = pNetwork.EdgeCount
longJunctionCount = pNetwork.JunctionCount
Dim i As Long

Dim pNetElements As INetElements
Set pNetElements = GetNetElements()

Dim pFeatureClass As IFeatureClass
Set pFeatureClass = GetFeatureClass()

Dim pFeature As IFeature
Dim maxEdgeCount As Long

Dim pFwdStar As IForwardStar
Set pFwdStar = pNetwork.CreateForwardStar(False, Nothing, _
Nothing, Nothing, Nothing)

Dim SelCountNow As Long
SelCountNow = SelectMapFeatures
MsgBox SelCountNow

Do While SelCount <> SelCountNow
StartEdit pEditor
'For j = 1 To 10
    For i = 1 To longJunctionCount - 1
        TraverseSegment pFwdStar, 0, i, pFeatureClass, pFeature, pNetElements, _
maxEdgeCount
    Next
    SelCount = SelCountNow
    SelCountNow = SelectMapFeatures
    'MsgBox SelCountNow
'Next
pEditor.StopEditing (True)
Loop

End Sub

Public Sub TraverseSegment(pForward As IForwardStar, lEdgeEID As Long, lInJunc As Long, _
pFeatureClass As IFeatureClass, pFeature As IFeature, pNetElements As INetElements, _
maxEdgeCount As Long)

Dim lLoop As Long, lEdgeCount As Long, lOutEID(10) As Long
Dim pWeight As Variant, lOutJuncEID As Long, bOrient(10) As Boolean
Dim elementOID As Long, elementClassID As Long, elementSub As Long

Dim Value_From(10) As Long, frc(10) As Integer, pFeatOID(10) As Long
pForward.FindAdjacent lEdgeEID, lInJunc, lEdgeCount

If lEdgeCount > maxEdgeCount Then
maxEdgeCount = lEdgeCount
End If

Dim JunctionOID As Long
Dim lOutJunctionEID(10) As Long

For lLoop = 0 To lEdgeCount - 1
    pForward.QueryAdjacentEdge lLoop, lOutEID(lLoop), bOrient(lLoop), pWeight
    pNetElements.QueryIDs lOutEID(lLoop), esriETEdge, elementClassID, elementOID, elementSub
    pNetElements.QueryIDs lInJunc, esriETJunction, elementClassID, JunctionOID, elementSub

```



```

Set pFeature = pFeatureClass.GetFeature(elementOID)

pFeatOID(1Loop) = elementOID
Value_From(1Loop) = pFeature.Value(pFeature.Fields.FindField("value_from"))
frc(1Loop) = pFeature.Value(pFeature.Fields.FindField("frc"))

Next 1Loop

'MsgBox pFeatOID(0) & " " & pFeatOID(1) & " " & pFeatOID(2) & " " & pFeatOID(3) & " " &
pFeatOID(4) & " " & JunctionOID

If 1EdgeCount >= 2 Then
    If Value_From(0) = 0 And Value_From(1) > 0 Then
        If frc(0) = frc(1) Then
            Set pFeature = pFeatureClass.GetFeature(pFeatOID(0))
            pFeature.Value(pFeature.Fields.FindField("value_from")) = Value_From(1)
            pFeature.Store
        End If
    ElseIf Value_From(0) > 0 And Value_From(1) = 0 Then
        If frc(0) = frc(1) Then
            Set pFeature = pFeatureClass.GetFeature(pFeatOID(1))
            pFeature.Value(pFeature.Fields.FindField("value_from")) = Value_From(0)
            pFeature.Store
        End If
    End If
End If

If 1EdgeCount >= 3 Then
    If Value_From(0) = 0 And Value_From(2) > 0 Then
        If frc(0) = frc(2) Then
            Set pFeature = pFeatureClass.GetFeature(pFeatOID(0))
            pFeature.Value(pFeature.Fields.FindField("value_from")) = Value_From(2)
            pFeature.Store
        End If
    ElseIf Value_From(0) > 0 And Value_From(2) = 0 Then
        If frc(0) = frc(2) Then
            Set pFeature = pFeatureClass.GetFeature(pFeatOID(2))
            pFeature.Value(pFeature.Fields.FindField("value_from")) = Value_From(0)
            pFeature.Store
        End If
    End If
    If Value_From(1) = 0 And Value_From(2) > 0 Then
        If frc(1) = frc(2) Then
            Set pFeature = pFeatureClass.GetFeature(pFeatOID(1))
            pFeature.Value(pFeature.Fields.FindField("value_from")) = Value_From(2)
            pFeature.Store
        End If
    ElseIf Value_From(1) > 0 And Value_From(2) = 0 Then
        If frc(1) = frc(2) Then
            Set pFeature = pFeatureClass.GetFeature(pFeatOID(2))
            pFeature.Value(pFeature.Fields.FindField("value_from")) = Value_From(1)
            pFeature.Store
        End If
    End If
End If

End If
End If

End Sub

Public Function GetFeatureClass() As IFeatureClass

Dim pMxDocument As IMxDocument
Set pMxDocument = ThisDocument
Dim pMap As IMap
Set pMap = pMxDocument.FocusMap
Dim pFeatureLayer As IFeatureLayer
Set pFeatureLayer = pMap.Layer(0)
Set GetFeatureClass = pFeatureLayer.FeatureClass

End Function

Public Function GetNetElements() As INetElements

Dim m_pApp As IApplication
Set m_pApp = Application
Dim pUID As New UID

```

```

pUID = "esricore.UtilityNetworkAnalysisExt"
Dim pNetworkAnalysisExt As INetworkAnalysisExt
Set pNetworkAnalysisExt = m_pApp.FindExtensionByCLSID(pUID)
Set GetNetElements = pNetworkAnalysisExt.CurrentNetwork.Network

End Function

Public Function GetNetwork() As IGeometricNetwork

Dim m_pApp As IApplication
Set m_pApp = Application
Dim pUID As New UID
pUID = "esricore.UtilityNetworkAnalysisExt"
Dim pNetworkAnalysisExt As INetworkAnalysisExt
Set pNetworkAnalysisExt = m_pApp.FindExtensionByCLSID(pUID)
Set GetNetwork = pNetworkAnalysisExt.CurrentNetwork

End Function

Public Sub StartEdit(pEditor As IEditor)

Dim pmXDoc As IMxDocument
Dim pMap As IMap
Dim pFeatureLayer As IFeatureLayer
Dim pDataset As IDataset
Dim LayerCount As Integer

Set pmXDoc = Application.Document
Set pMap = pmXDoc.FocusMap

'If an edit session has already been started exit
If Not pEditor.EditState = esriStateNotEditing Then Exit Sub

'Start editing the workspace of all featurelayers you find
For LayerCount = 0 To pMap.LayerCount - 1
    Set pFeatureLayer = pMap.Layer(LayerCount)
    Set pDataset = pFeatureLayer.FeatureClass
    pEditor.StartEditing pDataset.Workspace
    Exit For
Next LayerCount

End Sub

Public Function SelectMapFeatures()
    Dim pmXDoc As IMxDocument
    Dim pMap As IMap
    Dim pActiveView As IActiveView
    Dim pFeatureLayer As IFeatureLayer
    Dim pFeatureSelection As IFeatureSelection
    Dim pQueryFilter As IQueryFilter
    Dim pSelectionSet As ISelectionSet

    Set pmXDoc = Application.Document
    Set pMap = pmXDoc.FocusMap
    Set pActiveView = pMap

    'For simplicity sake let's use the first layer in the map
    If Not TypeOf pMap.Layer(0) Is IFeatureLayer Then Exit Function
    Set pFeatureLayer = pMap.Layer(0)
    Set pFeatureSelection = pFeatureLayer 'QI

    'Create the query filter
    Set pQueryFilter = New QueryFilter
    pQueryFilter.WhereClause = "value_from = 0"
    pActiveView.PartialRefresh esriViewGeoSelection, Nothing, Nothing
    'Perform the selection
    pFeatureSelection.SelectFeatures pQueryFilter, esriSelectionResultNew, False
    'Flag the new selection
    pActiveView.PartialRefresh esriViewGeoSelection, Nothing, Nothing

    Set pSelectionSet = pFeatureSelection.SelectionSet
    SelectMapFeatures = pSelectionSet.Count
End Function

« clsNetworkInfo » (« Class Modules ») :

' Network_Explorer
' clsNetworkInfo.cls

```

Option Explicit

'clsNetworkInfo.cls

'This class demonstrates how to explore many aspects of a network
'using ArcObjects. It also fires events to notify any listeners of
'changes.

Private m_pGN As IGeometricNetwork 'loaded geometric network

'The feature corresponding to the currently identified
'network element

Private m_pFeat As IFeature

Private m_eid As Long 'current network element eid

Private m_pEIDGeometry As IGeometry 'geometry of current element

Private m_blnEIDState As Boolean 'enabled state of current network element

'Information on all elements adjacent to the current element

Private m_AdjEID() As Long

Private m_AdjWeight() As Variant

Private m_pAdjEdgeGeo() As IGeometry

Private m_pAltAdjEdgeGeo() As IGeometry

Private m_pAdjJctGeo() As IGeometry

Private m_pAltAdjJctGeo() As IGeometry

Private m_AdjCount As Long

Private m_AltAdjCount As Long

Private m_AdjIndex As Long

'If the current element is an edge we perform ForwardStar

'queries searching from either the From or To junction

'The setting is irrelevant if the current element is a junction

Private m_blnSearchFromJct As Boolean

'We either find edges adjacent to the current element or the junctions

'adjacent to the current element based on this setting

Private m_blnFindAdjEdges As Boolean

'Show the weight for of adjacent elements for this weight

Private m_lngWeightIndex As Long

'Notify: the current geometric network has changed to another

'network or none (unloaded)

Public Event UpdateNetwork()

'Notify: the current weight has changed

Public Event UpdateWeight()

'Notify: the current network element has changed

Public Event UpdateEID(blnAutoZoom As Boolean)

'Notify: the Current Adjacent element has changed

Public Event UpdateCurrentAdjacent(blnLocate As Boolean)

'Notify: the adjacent elements have changed

Public Event UpdateAdjacent()

'Notify: the at junction has changed

Public Event Shutdown()

'EID for current element

Public Property Get eid() As Long

 eid = m_eid

End Property

'Get Ids of current element. Can be used to get the corresponding
'feature

Public Sub GetCurrentIds(ByRef lngUserClassId As Long, _
 ByRef lngUserID As Long, ByRef lngUserSubID As Long)

 Dim eltype As esriElementType

 eltype = CurrentElementType()

 GetIDs m_eid, eltype, lngUserClassId, lngUserID, lngUserSubID

End Sub

'Type of the current network element

Public Property Get CurrentElementType() As esriElementType

 CurrentElementType = esriETNone 'default

 If m_pFeat Is Nothing Then Exit Property

 Select Case m_pFeat.FeatureType

 Case esriFTSimpleEdge, esriFTComplexEdge

 CurrentElementType = esriETEdge


```

    Case esriFTSimpleJunction, esriFTComplexJunction
        CurrentElementType = esriETJunction
    End Select
End Property

'enabled state of the current element
Public Property Get CurrentEnabled() As Boolean
    CurrentEnabled = IsEnabled(m_eid, CurrentElementType())
End Property

'includes the current element AND the current adjacent geometry...
Public Property Get EIDEnvelope() As IEnvelope
    Dim pEnv As IEnvelope
    Dim pGeom As IGeometry
    Dim cnt As Long
    Dim i As Long

    Set EIDEnvelope = Nothing 'default
    If m_pFeat Is Nothing Then Exit Property
    Set pGeom = m_pFeat.Shape
    If pGeom Is Nothing Then Exit Property
    Set pEnv = pGeom.Envelope
    'Now go through adjacent features...
    cnt = AdjacentCount
    For i = 0 To cnt - 1
        Set pGeom = AdjacentGeometry(i)
        If Not pGeom Is Nothing Then
            pEnv.Union pGeom.Envelope
        End If
    Next
    Set EIDEnvelope = pEnv
End Property

'If the Current Element is an edge find elements adjacent to
'either the From or To junction based on this property
Public Property Let UseFromAtJunction(blnSearchFromJct As Boolean)
    If blnSearchFromJct = m_blnSearchFromJct Then Exit Property
    m_blnSearchFromJct = blnSearchFromJct
    If Not HasCurrentEID Then Exit Property
    'No immediate impact unless current element is an edge...
    If CurrentElementType <> esriETEdge Then Exit Property
    UpdateForwardStarInfo
    RaiseEvent UpdateAdjacent
End Property

'find either adjacent edges or adjacents junctions based
'on this property
Public Property Let FindAdjEdges(newval As Boolean)
    If newval = m_blnFindAdjEdges Then Exit Property
    m_blnFindAdjEdges = newval
    If Not HasNetwork Then Exit Property
    UpdateForwardStarInfo
    RaiseEvent UpdateAdjacent
End Property

'the current type of adjacent elements
Public Property Get AdjacentType() As esriElementType
    AdjacentType = esriETNone
    If m_pGN Is Nothing Then Exit Property
    If m_blnFindAdjEdges Then
        AdjacentType = esriETEdge
    Else
        AdjacentType = esriETJunction
    End If
End Property

'the number of adjacent elements
Public Property Get AdjacentCount() As Long
    Dim eltype As esriElementType

    AdjacentCount = 0 'default
    eltype = CurrentElementType
    If eltype = esriETNone Then Exit Property

    AdjacentCount = m_AdjCount
    Select Case eltype
    Case esriETEdge

```

```

    If m_blnSearchFromJct Then AdjacentCount = m_AltAdjCount
End Select
End Property

'Geometry of the current adjacent element
Public Property Get CurrentAdjacentGeometry() As IGeometry
    Set CurrentAdjacentGeometry = AdjacentGeometry(m_AdjIndex)
End Property

'Element ID of the index'th Adjacent Element
Public Property Get AdjEID(index As Long) As Long
    On Error Resume Next
    AdjEID = 0
    AdjEID = m_AdjEID(index)
End Property

'Weight of the index'th Adjacent Element
Public Property Get AdjWeight(index As Long) As Variant
    On Error Resume Next
    AdjWeight = ""
    AdjWeight = m_AdjWeight(index)
End Property

'Ids of the index'th Adjacent element. Can be used to find the
'feature corresponding to the adjacent element
Public Sub GetAdjIDs(ByVal index As Long, ByRef lngUserClassId As Long, _
    ByRef lngUserID As Long, ByRef lngUserSubID As Long)

    Dim adjtype As esriElementType
    Dim lngEID As Long

    lngEID = AdjEID(index)
    adjtype = AdjacentType()
    GetIDs lngEID, adjtype, lngUserClassId, lngUserID, lngUserSubID
End Sub

'Enabled state of index'th adjacent element
Public Property Get AdjEnabled(index As Long) As Boolean
    AdjEnabled = IsEnabled(AdjEID(index), AdjacentType())
End Property

'Adjacent geometry of index'th adjacent element
Public Property Get AdjacentGeometry(index As Long) As IGeometry
    Dim max As Long
    Dim i As Long
    Dim pGeom As IGeometry
    Dim eltype As esriElementType

    Set pGeom = Nothing
    Set AdjacentGeometry = Nothing
    max = AdjacentCount() - 1
    If index < 0 Or index > max Then Exit Property
    If max < 0 Then Exit Property
    eltype = CurrentElementType
    'Now get the correct geometry array...
    If m_blnFindAdjEdges Then
        If eltype = esriETEdge And m_blnSearchFromJct Then
            Set pGeom = m_pAltAdjEdgeGeo(index)
        Else
            Set pGeom = m_pAdjEdgeGeo(index)
        End If
    Else
        If eltype = esriETEdge And m_blnSearchFromJct Then
            Set pGeom = m_pAltAdjJctGeo(index)
        Else
            Set pGeom = m_pAdjJctGeo(index)
        End If
    End If
    Set AdjacentGeometry = pGeom
End Property

'Returns the element Id of the At Junction of the current element
'If the current element is a junction the at junction is just the junction
'If the current element is an edge then the at junction is either the
'from or to junction of the current element. (Based on the UseFromAtJunction
'property)
Public Property Get AtJunctionEID(Optional blnAlt As Boolean = False) As Long

```

```

Dim eltype As esriElementType
Dim pNetTopo As INetTopology
Dim feid As Long
Dim teid As Long

AtJunctionEID = 0
eltype = CurrentElementType
If eltype = esriETNone Then Exit Property
Select Case eltype
Case esriETJunction
    AtJunctionEID = m_eid
Case esriETEdge
    Set pNetTopo = m_pGN.Network
    pNetTopo.GetFromToJunctionEIDs m_eid, feid, teid
    If Not blnAlt Then
        AtJunctionEID = teid
    Else
        AtJunctionEID = feid
    End If
End Select
End Property

'the current element is comple or simple
'If there is no current element IsComplex is also false.
Public Property Get IsComplex() As Boolean
    Dim featype As esriFeatureType

    IsComplex = False
    If m_pFeat Is Nothing Then Exit Property
    featype = m_pFeat.FeatureType
    Select Case featype
    Case esriFTComplexEdge, esriFTComplexJunction
        IsComplex = True
    Case Else
        IsComplex = False
    End Select
End Property

'Shutdown
Public Sub Shutdown()
    Reset
    RaiseEvent Shutdown
    Set NetInfo = Nothing
End Sub

'Is there a geometric network loaded
Public Property Get HasNetwork() As Boolean
    HasNetwork = (Not m_pGN Is Nothing)
End Property

'Is there a current network element identified
Public Property Get HasCurrentEID() As Boolean
    HasCurrentEID = HasNetwork And (m_eid <> 0) And (Not m_pFeat Is Nothing)
End Property

'ClassID of the current element (or 0 if there isn't a current element)
Public Property Get CurrentClassID() As Long
    CurrentClassID = 0
    If HasCurrentEID Then
        CurrentClassID = m_pFeat.Class.ObjectClassID
    End If
End Property

'Object ID of the current element (or 0 if there isn't a current element)
Public Property Get CurrentOID() As Long
    CurrentOID = 0
    If HasCurrentEID Then
        CurrentOID = m_pFeat.OID
    End If
End Property

'set the current geometric network
Public Property Set GeoNet(pGN As IGeometricNetwork)
    Reset
    Set m_pGN = pGN
    RaiseEvent UpdateNetwork
End Property

```



```

'get the geometry ogf the current element
Public Property Get EIDGeometry() As IGeometry
    Set EIDGeometry = m_pEIDGeometry
End Property

Public Property Get FeatureGeometry() As IGeometry
    Set FeatureGeometry = Nothing
    If m_pFeat Is Nothing Then Exit Property
    Set FeatureGeometry = m_pFeat.Shape
End Property

Public Property Get AtJunctionGeometry() As IGeometry
    Dim blnAlt As Boolean
    Dim atjct As Long

    Set AtJunctionGeometry = Nothing

    blnAlt = m_blnSearchFromJct
    atjct = AtJunctionEID(blnAlt)
    If atjct <= 0 Then Exit Property
    Set AtJunctionGeometry = m_pGN.GeometryForJunctionEID(atjct)
End Property

'enumerate the feature classes of type ftype that belong to the
'current geometric network
Public Function GetEnumNetFC(ftype As esriFeatureType) As IEnumFeatureClass
    Dim pEnumFC As IEnumFeatureClass

    On Error GoTo Fail
    Set GetEnumNetFC = Nothing 'deafult
    If m_pGN Is Nothing Then Exit Function
    Set pEnumFC = Nothing
    Set pEnumFC = m_pGN.ClassesByType(ftype)
    If pEnumFC Is Nothing Then Exit Function
    pEnumFC.Reset
    Set GetEnumNetFC = pEnumFC
    Exit Function
Fail:
    Set GetEnumNetFC = Nothing
End Function

'If you want to make the new current element be
'the idx'th adjacent element
Public Sub IdentifyAdjacent(idx As Long)
    Dim pFeat As IFeature
    Dim lngEID As Long

    lngEID = AdjEID(idx)
    Set pFeat = EIDFeature(lngEID, AdjacentType())
    If Not pFeat Is Nothing Then
        UpdateEID pFeat, lngEID, False
    Else
        ClearEID
    End If
End Sub

'Identify an element closest to the center of pEnv and make it the
'current element. First search junctions and then only if none found within
'a tolerance search for the closest edges. Otherwise it would be hard
'to select junctions.

Public Sub SpatialIdentify(pEnv As IEnvelope, pSpatialRef As ISpatialReference)
    Dim pFC As IFeatureClass
    Dim pEnumFC As IEnumFeatureClass
    Dim dDist As Double
    Dim dBestDist As Double
    Dim pFeatureCursor As IFeatureCursor
    Dim ppt As IPoint
    Dim pFeat As IFeature
    Dim pFeatBest As IFeature
    Dim blnSearchEdge As Boolean
    Dim lngEID As Long

    If pEnv Is Nothing Then Exit Sub
    If pEnv.IsEmpty Then Exit Sub
    Set ppt = New Point

```

```

ppt.PutCoords (pEnv.XMax + pEnv.XMin) / 2#, (pEnv.YMax + pEnv.YMin) / 2#
dDist = -1
dBestDist = -1
blnSearchEdge = True 'default
'If find closest element in a 'precedence level' stop there (even if there
'may be closer elements in lower levels...)
'precedence:
'1.Jct FC (Complex Junctions ignored)
'2.Edge FC (Simple or Complex)
Set pEnumFC = GetEnumNetFC(esriFTSimpleJunction)
Set pFC = Nothing
If Not pEnumFC Is Nothing Then Set pFC = pEnumFC.Next
Do While Not pFC Is Nothing
    Set pFeatureCursor = GetSpatialFeatureCursor(pFC, pEnv, pSpatialRef)
    dDist = FindClosestFeature(ppt, pFeatureCursor, pFeat)
    If dBestDist < 0 Or (dDist < dBestDist And dDist >= 0) Then
        dBestDist = dDist
        Set pFeatBest = pFeat
    End If
    Set pFC = pEnumFC.Next
Loop
'2.Edge FC (Simple or Complex)
'simple
If dBestDist >= 0 Then blnSearchEdge = False
Set pFC = Nothing
If blnSearchEdge Then
    Set pEnumFC = GetEnumNetFC(esriFTSimpleEdge)
    If Not pEnumFC Is Nothing Then
        Set pFC = pEnumFC.Next
    End If
End If
Do While Not pFC Is Nothing
    Set pFeatureCursor = GetSpatialFeatureCursor(pFC, pEnv, pSpatialRef)
    dDist = FindClosestFeature(ppt, pFeatureCursor, pFeat)
    If dBestDist < 0 Or (dDist < dBestDist And dDist >= 0) Then
        dBestDist = dDist
        Set pFeatBest = pFeat
    End If
    Set pFC = pEnumFC.Next
Loop
'complex (always check this too if check simple edge)
Set pFC = Nothing
If blnSearchEdge Then
    Set pEnumFC = GetEnumNetFC(esriFTComplexEdge)
    If Not pEnumFC Is Nothing Then
        Set pFC = pEnumFC.Next
    End If
End If
Do While Not pFC Is Nothing
    Set pFeatureCursor = GetSpatialFeatureCursor(pFC, pEnv, pSpatialRef)
    dDist = FindClosestFeature(ppt, pFeatureCursor, pFeat)
    If dBestDist < 0 Or (dDist < dBestDist And dDist >= 0) Then
        dBestDist = dDist
        Set pFeatBest = pFeat
    End If
    Set pFC = pEnumFC.Next
Loop

Set pFeat = Nothing
lngEID = 0
If Not pFeatBest Is Nothing Then
    If Not TypeOf pFeatBest Is INetworkFeature Then
        Set pFeatBest = Nothing
    Else
        Set pFeat = pFeatBest
    End If
End If

If Not pFeat Is Nothing Then
    lngEID = FindClosestEID(ppt, pFeat)
End If
UpdateEID pFeat, lngEID, False
End Sub

'Identify closest adjacent element if its geometry is closer than
'dblCutOff to ppt

```

```

Public Sub SpatialIdentifyAdjacent(ppt As IPoint, dblCutOff)
    Dim dDist As Double
    Dim dBestDist As Double
    Dim dBestIndex As Long
    Dim i As Long
    Dim cnt As Long
    Dim pProximity As IProximityOperator
    Dim pGeom As IGeometry

    cnt = AdjacentCount
    dDist = -1
    dBestDist = -1
    dBestIndex = -1
    Set pProximity = ppt
    For i = 0 To cnt - 1
        Set pGeom = AdjacentGeometry(i)
        If Not pGeom Is Nothing Then
            dDist = pProximity.ReturnDistance(AdjacentGeometry(i))
            If dBestDist < 0 Or dDist < dBestDist Then
                dBestIndex = i
                dBestDist = dDist
            End If
        End If
    Next
    If dBestDist >= 0 And dBestDist < dblCutOff Then
        m_AdjIndex = dBestIndex
        RaiseEvent UpdateCurrentAdjacent(False)
    End If
End Sub

'Index of the Current Adjacent element
Public Property Get CurrentAdjacentIndex() As Long
    CurrentAdjacentIndex = m_AdjIndex
End Property

Public Property Let CurrentAdjacentIndex(newval As Long)
    'NOTE: Fire event even if setting to current value to allow flash shape...
    If newval < 0 Or newval >= AdjacentCount Then Exit Property
    m_AdjIndex = newval
    RaiseEvent UpdateCurrentAdjacent(True)
End Property

'The feature class name of the current element
Public Property Get CurrentFCName() As String
    Dim pFC As IFeatureClass

    CurrentFCName = ""
    If m_pFeat Is Nothing Then Exit Property
    Set pFC = m_pFeat.Class
    CurrentFCName = FCName(pFC)
End Property

'the feature class name of feature class pFC
Public Property Get FCName(pFC As IFeatureClass) As String
    Dim pDS As IDataset

    FCName = ""
    If pFC Is Nothing Then Exit Property
    Set pDS = pFC
    FCName = pDS.Name
End Property

'The feature type of the current element's corresponding feature
Public Property Get CurrentFeatureType() As esriFeatureType
    Dim ftype As esriFeatureType

    CurrentFeatureType = esriFTSimpleEdge 'default
    If m_pFeat Is Nothing Then Exit Property
    ftype = m_pFeat.FeatureType
    CurrentFeatureType = ftype
End Property

'Feature Type of the current element's corresponding feature
'as a string
Public Property Get CurrentFeatureTypeString() As String
    Dim ftype As esriFeatureType
    Dim strResult As String

```



```

CurrentFeatureTypeString = ""
If m_pFeat Is Nothing Then Exit Property
ftype = m_pFeat.FeatureType
CurrentFeatureTypeString = FeatureTypeString(ftype)
End Property

'Feature Type enumeration ftype as a string
Public Property Get FeatureTypeString(ftype As esriFeatureType) As String
    Dim strResult As String

    Select Case ftype
        Case esriFTSimpleJunction: strResult = "Simple Junction"
        Case esriFTSimpleEdge: strResult = "Simple Edge"
        Case esriFTComplexEdge: strResult = "Complex Edge"
        Case esriFTComplexJunction: strResult = "Complex Junction"
        Case Else: strResult = ""
    End Select
    FeatureTypeString = strResult
End Property

'Element Type of the current element as a string
Public Property Get ElementTypeString() As String
    Dim eltype As esriElementType
    Dim strResult As String

    ElementTypeString = ""
    If m_pFeat Is Nothing Then Exit Property
    eltype = CurrentElementType()
    ElementTypeString = ETypeString(eltype)
End Property

'Element Type Enumeration eltype as a string
Private Property Get ETypeString(eltype As esriElementType) As String
    Dim strResult As String

    Select Case eltype
        Case esriETJunction: strResult = "Junction"
        Case esriETEdge: strResult = "Edge"
        Case Else: strResult = ""
    End Select
    ETypeString = strResult
End Property

'If the current feature is a junction show
'Ancillary role as a string
Public Property Get AncillaryRoleString() As String
    Dim role As esriNetworkFeatureAncillaryRole
    Dim strResult As String

    role = AncillaryRole()
    Select Case role
        Case esriNFARSink: strResult = "Sink"
        Case esriNFARSource: strResult = "Source"
        Case Else: strResult = "None"
    End Select
    AncillaryRoleString = strResult
End Property

'Ancillary Role of current element if it is a junction
Private Property Get AncillaryRole() As esriNetworkFeatureAncillaryRole
    Dim pJctFeat As IJunctionFeature

    AncillaryRole = esriNFARNone
    If Not HasNetwork Then Exit Property
    If m_pFeat Is Nothing Then Exit Property

    If TypeOf m_pFeat Is IJunctionFeature Then
        Set pJctFeat = m_pFeat
        AncillaryRole = pJctFeat.NetworkAncillaryRole
    End If
End Property

'Enabled state of the Current Element
Private Property Get IsEnabled(ByVal lngEID As Long, _
    ByVal eltype As esriElementType) As Boolean

```

```

Dim pNetAttributes As INetAttributes

On Error Resume Next
IsEnabled = False
If Not NetInfo.HasNetwork Then Exit Property
Set pNetAttributes = m_pGN.Network
IsEnabled = Not pNetAttributes.GetDisabledState(lngEID, eltttype)
End Property

'Gets the value of field strFieldName in the feature corresponding
'to the current network element
Public Property Get CurrentFieldValue(strFieldName As String) As Variant
Dim pFC As IFeatureClass
Dim idx As Long

On Error Resume Next
CurrentFieldValue = ""
If Not HasNetwork Then Exit Property
If m_pFeat Is Nothing Then Exit Property

Set pFC = m_pFeat.Class
idx = FindFieldIndex(pFC, strFieldName)
If idx < 0 Then Exit Property
CurrentFieldValue = m_pFeat.Value(idx)
End Property

'Gets the weight value of the current element for the idx'th weight
Public Property Get CurrentWeightValue(idx As Long) As Variant
CurrentWeightValue = WeightValue(m_eid, CurrentElementType(), idx)
End Property

'Weight value for idxWeight and specified element
Private Property Get WeightValue(ByVal lngEID As Long, _
ByVal eltttype As esriElementType, ByVal idxWeight As Long) As Variant

Dim pNetAttributes As INetAttributes

WeightValue = ""
If Not NetInfo.HasNetwork Then Exit Property
If m_eid <= 0 Then Exit Property
Set pNetAttributes = m_pGN.Network
WeightValue = pNetAttributes.GetWeightValue(lngEID, eltttype, idxWeight)
End Property

'Get the ids of the specified network element
Private Sub GetIDs(ByVal lngEID As Long, ByVal eltttype As esriElementType, _
ByRef lngUserClassId As Long, ByRef lngUserID As Long, ByRef lngUserSubID As Long)

Dim pNetElts As INetElements
Dim blnValid As Boolean

On Error Resume Next
lngUserID = 0: lngUserClassId = 0: lngUserSubID = 0
If Not NetInfo.HasNetwork Then Exit Sub
Set pNetElts = m_pGN.Network

blnValid = False
blnValid = pNetElts.IsValidElement(lngEID, eltttype)
If blnValid Then
pNetElts.QueryIDs lngEID, eltttype, lngUserClassId, lngUserID, lngUserSubID
End If
End Sub

'Query for an element by element id and element type
Public Sub QueryForEID(lngEID As Long, eltttype As esriElementType)
Dim pFeat As IFeature

Set pFeat = EIDFeature(lngEID, eltttype)
If Not pFeat Is Nothing Then
UpdateEID pFeat, lngEID, True
Else
ClearEID
End If
End Sub

'Query for an element by Object ID of a feature in a feature class in the
'geometric id with class id lngClsID

```

```

Public Sub QueryByOID(lngOID As Long, lngClsID As Long, eltttype As esriElementType)
    Dim pEnumNetEID As IEnumNetEID
    Dim pFeat As IFeature
    Dim lngEID As Long

    Set pEnumNetEID = EIDsByOID(lngOID, lngClsID, eltttype)
    lngEID = 0
    If Not pEnumNetEID Is Nothing Then
        pEnumNetEID.Reset
        'Arbitrarily pick the first one (could be multiple if a complex element...)
        lngEID = pEnumNetEID.Next
    End If
    Set pFeat = EIDFeature(lngEID, eltttype)
    If Not pFeat Is Nothing Then
        UpdateEID pFeat, lngEID, True
    Else
        ClearEID
    End If
End Sub

'Clear the current element so there is no longer a current element
Public Sub ClearEID()
    UpdateEID Nothing, 0, False
End Sub

'Number of weights in the current network
Public Property Get WeightCount() As Long
    Dim pNetSchema As INetSchema
    Dim cnt As Long

    WeightCount = 0
    If m_pGN Is Nothing Then Exit Property
    Set pNetSchema = m_pGN.Network
    WeightCount = pNetSchema.WeightCount
End Property

'Weight Name of index'th weight in the network
Public Property Get WeightName(index As Long) As String
    Dim pNetWeight As INetWeight

    Set pNetWeight = Weight(index)
    If pNetWeight Is Nothing Then
        WeightName = ""
    Else
        WeightName = pNetWeight.WeightName
    End If
End Property

'Weight Type of index'th weight in the network
Public Property Get WeightType(index As Long) As esriWeightType
    Dim pNetWeight As INetWeight

    Set pNetWeight = Weight(index)
    If pNetWeight Is Nothing Then
        WeightType = esriWTNull
    Else
        WeightType = pNetWeight.WeightType
    End If
End Property

'Weight type of idx'th weight as a string
Public Property Get WeightTypeString(idx As Long) As String
    Dim strResult As String
    Dim wt As esriWeightType

    wt = WeightType(idx)
    Select Case wt
        Case esriWTBitGate: strResult = "Bitgate"
        Case esriWTDoube: strResult = "Double"
        Case esriWTInteger: strResult = "Integer"
        Case esriWTSingle: strResult = "Single"
        Case Else: strResult = ""
    End Select
    WeightTypeString = strResult
End Property

'If the Current Element is NOT a complex edge this always returns 1

```



```
'If the current elemtn is an edge this provides the ratio of
'the length of the geometry associated with the current (edge)
'element and the total length of the feature corresponding to
'the current element. Could be useful to compare this ratio with the
'ratio of a weight to its mapped weight field.
```

```
Public Property Get LengthRatio() As Double
    Dim lenFeature As Double
    Dim lenEIDGeometry As Double
    Dim pGeom As IGeometry
    Dim pPolyLine As IPolyline
    Dim pLine As ILine
    Dim dblWholeLen As Double
    Dim dblPartLen As Double

    On Error Resume Next

    LengthRatio = 1#
    If Not HasNetwork Then Exit Property
    If m_pFeat Is Nothing Then Exit Property
    If m_pEIDGeometry Is Nothing Then Exit Property
    If CurrentElementType <> esriETEdge Then Exit Property
    If Not IsComplex Then Exit Property
    Set pGeom = m_pFeat.Shape
    If pGeom Is Nothing Then Exit Property
    If TypeOf pGeom Is ILine Then
        Set pLine = pGeom
        dblWholeLen = pLine.Length
    ElseIf TypeOf pGeom Is IPolyline Then
        Set pPolyLine = pGeom
        dblWholeLen = pPolyLine.Length
    Else
        Exit Property
    End If
    If TypeOf m_pEIDGeometry Is ILine Then
        Set pLine = m_pEIDGeometry
        dblPartLen = pLine.Length
    ElseIf TypeOf pGeom Is IPolyline Then
        Set pPolyLine = m_pEIDGeometry
        dblPartLen = pPolyLine.Length
    Else
        Exit Property
    End If
    If dblWholeLen > 0 Then
        LengthRatio = dblPartLen / dblWholeLen
    End If
End Property
```

```
'Instead of viewing the numeric value of a BitGate weight use this
'function to display it as a string of Big Endian bits. Can be an
'easier way to view the set bits
```

```
Public Function GetBitString(idx As Long, lngVal As Long) As String
    Dim strValAsBitString As String
    Dim pNetWeight As INetWeight
    Dim lngSize As Long
    Dim i As Long
    Dim lngBitMask As Long
    Dim arr() As Boolean

    On Error Resume Next

    GetBitString = ""
    Set pNetWeight = Weight(idx)
    If pNetWeight Is Nothing Then Exit Function
    If pNetWeight.WeightType <> esriWTBitGate Then Exit Function
    lngSize = pNetWeight.BitGateSize
    lngVal = WeightValue(m_eid, CurrentElementType, idx)
    lngBitMask = 1 '2^0
    strValAsBitString = ""
    If lngSize <= 0 Then Exit Function
    ReDim arr(lngSize - 1) As Boolean
    For i = 0 To lngSize - 1
        arr(i) = lngVal And lngBitMask
        If i < 31 Then lngBitMask = 2 * lngBitMask
    Next

    For i = 0 To lngSize - 1
        'For Big Endian...
    For i = lngSize - 1 To 0 Step -1 'For Little Endian...
```

```

    If arr(i) Then
        strValAsBitString = strValAsBitString + "1"
    Else
        strValAsBitString = strValAsBitString + "0"
    End If
Next
Erase arr()
GetBitString = strValAsBitString
End Function

'Enumerate the mappings between a field in the feature classes in the
'geometric network and the idx'th network weight
Public Property Get WeightAssocEnum(idx As Long) As IEnumNetWeightAssociation
    Dim pNetSchema As INetSchema
    Dim pEnumNetWeightAssoc As IEnumNetWeightAssociation

    On Error Resume Next
    Set WeightAssocEnum = Nothing
    If Not NetInfo.HasNetwork Then Exit Property
    Set pNetSchema = m_pGN.Network
    Set pEnumNetWeightAssoc = pNetSchema.WeightAssociations(idx)
    Set WeightAssocEnum = pEnumNetWeightAssoc
End Property

'Get the weight association between a field in the feature class
'corresponding to the current network element and the idx'th weight
'Will return nothing if there is no such mapping
Public Property Get WeightAssoc(idx As Long) As INetWeightAssociation
    Dim pFC As IFeatureClass
    Dim pDS As IDataset
    Dim strFCName As String
    Dim pNetWeightAssoc As INetWeightAssociation
    Dim pEnumNetWeightAssoc As IEnumNetWeightAssociation

    On Error Resume Next

    Set WeightAssoc = Nothing
    If m_pFeat Is Nothing Then Exit Property
    Set pFC = m_pFeat.Class
    Set pDS = pFC
    strFCName = pDS.Name
    Set pEnumNetWeightAssoc = WeightAssocEnum(idx)
    If pEnumNetWeightAssoc Is Nothing Then Exit Property
    pEnumNetWeightAssoc.Reset
    Set pNetWeightAssoc = pEnumNetWeightAssoc.Next
    Do While Not pNetWeightAssoc Is Nothing
        If pNetWeightAssoc.TableName = strFCName Then Exit Do
        Set pNetWeightAssoc = pEnumNetWeightAssoc.Next
    Loop
    'Note: If the Feature Class corresponding with the current EID is
    'not mapped to this weight then Nothing will be returned...
    Set WeightAssoc = pNetWeightAssoc
End Property

'Gets the Currently set weight index
Public Property Get WeightIndex() As Long
    WeightIndex = m_lngWeightIndex
End Property

Public Property Let WeightIndex(newindex As Long)
    If m_lngWeightIndex = newindex Then Exit Property
    m_lngWeightIndex = newindex
    If Not HasNetwork Then Exit Property
    UpdateForwardStarInfo
    RaiseEvent UpdateWeight
End Property

'Gets the Current Weight
Private Property Get CurrentWeight() As INetWeight
    Set CurrentWeight = Weight(m_lngWeightIndex)
End Property

'Get index'th weight
Public Property Get Weight(index As Long) As INetWeight
    Dim pNetSchema As INetSchema
    Dim pNetWeight As INetWeight
    Dim cnt As Long

```

```

On Error Resume Next
Set Weight = Nothing
If m_pGN Is Nothing Then Exit Property
If index < 0 Then Exit Property
Set pNetSchema = m_pGN.Network
Set Weight = pNetSchema.Weight(index)
End Property

'All at once Get some general network information returned by reference
'to the parameters
Public Sub GetMetaData(ByRef strName As String, ByRef EdgeCount As Long, _
    ByRef jctcount As Long, ByRef maxdegree As Long, ByRef status As esriNetworkStatus)

    Dim pNetwork As INetwork
    Dim pDS As IDataset

    strName = "": EdgeCount = 0: jctcount = 0: maxdegree = 0: status = esriNSUnknownStatus
    If Not Me.HasNetwork Then Exit Sub
    Set pDS = m_pGN
    strName = pDS.Name
    Set pNetwork = m_pGN.Network
    EdgeCount = pNetwork.EdgeCount
    jctcount = pNetwork.JunctionCount
    maxdegree = pNetwork.maxdegree
    status = pNetwork.status
End Sub

'Get the Network Status enumeration status as a string
Public Property Get NetStatusString(status As esriNetworkStatus) As String
    Dim str As String

    Select Case status
    Case esriNSCannotCreateTables: str = "Cannot create tables"
    Case esriNSCannotOpenTables: str = "Cannot open tables"
    Case esriNSInvalidConnection: str = "Invalid connection"
    Case esriNSInvalidElementClasses: str = "Invalid element classes"
    Case esriNSInvalidWeights: str = "Invalid weights"
    Case esriNSNetworkAlreadyExist: str = "Network already exists"
    Case esriNSReadOnlyNetwork: str = "Read-only network"
    Case esriNSUnknownStatus: str = "Unknown status"
    Case esriNSValidNetwork: str = "Valid network"
    Case Else: str = "Unknown status"
    End Select
    NetStatusString = str
End Property

'find the field index of strFieldName in feature class pFC
'If the field is not found return -1
Private Function FindFieldIndex(pFC As IFeatureClass, strFieldName As String) As Long
    Dim i As Long
    Dim pFields As IFields

    FindFieldIndex = -1
    If pFC Is Nothing Then Exit Function

    Set pFields = pFC.Fields
    i = pFields.FindField(strFieldName)
    FindFieldIndex = i
End Function

'Find a feature based on its ids by searching amongst the
'feature classes in pEnumFC
Private Function FindFeature(pEnumFC As IEnumFeatureClass, _
    lngUserClassId As Long, lngUserID As Long, ByRef pFeat As IFeature) As Boolean

    Dim pFC As IFeatureClass

    On Error GoTo Fail
    FindFeature = False 'default
    Set pFeat = Nothing

    If pEnumFC Is Nothing Then Exit Function
    Set pFC = pEnumFC.Next
    Do While Not pFC Is Nothing
        If pFC.ObjectClassID = lngUserClassId Then
            Set pFeat = pFC.GetFeature(lngUserID)
        End If
    Loop
Fail:

```



```

        FindFeature = True
        Exit Do
    End If
    Set pFC = pEnumFC.Next
Loop
Exit Function
Fail:
    'Unknown Error
    Debug.Assert False
    FindFeature = False
End Function

'Clear out the private data
Private Sub Reset()
    Set m_pGN = Nothing

    Set m_pFeat = Nothing
    m_eid = 0
    Set m_pEIDGeometry = Nothing
    m_blnEIDState = True

    Erase m_AdjEID()
    Erase m_AdjWeight()
    Erase m_pAdjEdgeGeo()
    Erase m_pAltAdjEdgeGeo()
    Erase m_pAdjJctGeo()
    Erase m_pAltAdjJctGeo()
    m_AdjCount = 0
    m_AltAdjCount = 0
    m_AdjIndex = 0

    'm_blnSearchFromJct = False 'don't Clear this flag
    'm_blnFindAdjEdges = False 'don't clear this flag
    m_lngWeightIndex = -1
End Sub

Private Sub Class_Initialize()
    Reset
End Sub

Private Sub Class_Terminate()
    Reset
End Sub

'Change the current network element
Private Sub UpdateEID(pFeat As IFeature, lngEID As Long, blnAutoZoom As Boolean)
    Dim pGeom As IGeometry

    If m_pGN Is Nothing Then Exit Sub
    Set m_pFeat = pFeat
    m_eid = 0 'default
    Set m_pEIDGeometry = Nothing 'default
    If Not m_pFeat Is Nothing Then
        m_eid = lngEID
        Set m_pEIDGeometry = GetNetGeometry(pFeat, lngEID)
    End If
    UpdateForwardStarInfo
    UpdateAdjacentGeometry
    RaiseEvent UpdateEID(blnAutoZoom)
End Sub

'Update information on elements adjacent to the current element
Private Sub UpdateForwardStarInfo()
    Dim pNet As INetwork
    Dim pFwdStar As IForwardStar
    Dim cnt As Long
    Dim atjct As Long
    Dim eltype As esriElementType
    Dim blnAlt As Boolean
    Dim pNetWeight As INetWeight

    If m_pGN Is Nothing Then Exit Sub
    eltype = CurrentElementType
    If eltype = esriETNone Then Exit Sub
    Set pNet = m_pGN.Network
    Set pNetWeight = CurrentWeight()
    'Set HonorState flag to false. Can indicate enabled state

```

```

'by retrieving the enabled state separately
Set pFwdStar = pNet.CreateForwardStar(False, pNetWeight, _
    pNetWeight, pNetWeight, Nothing)

Erase m_AdjEID
Erase m_AdjWeight
blnAlt = m_blnSearchFromJct
atjct = AtJunctionEID(blnAlt)
pFwdStar.FindAdjacent 0, atjct, cnt

If cnt > 0 Then
    ReDim m_AdjEID(cnt - 1)
    ReDim m_AdjWeight(cnt - 1)
    ReDim orient(cnt - 1) As Boolean
    If m_blnFindAdjEdges Then
        pFwdStar.QueryAdjacentEdges cnt, m_AdjEID(0), orient(0), m_AdjWeight(0)
    Else
        pFwdStar.QueryAdjacentJunctions cnt, m_AdjEID(0), m_AdjWeight(0)
    End If
End If
End Sub

'Update the Adjacent Geometry array
Private Sub UpdateAdjacentGeometry()
    Dim pNet As INetwork
    Dim pFwdStar As IForwardStar
    Dim cnt As Long
    Dim atjct As Long
    Dim eltttype As esriElementType

    If m_pGN Is Nothing Then Exit Sub
    eltttype = CurrentElementType
    If eltttype = esriETNone Then Exit Sub
    Set pNet = m_pGN.Network
    'Set pFwdStar = pNet.CreateForwardStar(blnHonorState, pJunctionWeight, _
    '    pFromToEdgeWeight, pToFromEdgeWeight, pTurnWeight)
    'TODO: Use Weights
    'TODO: Make This Work
    Set pFwdStar = pNet.CreateForwardStar(False, Nothing, _
        Nothing, Nothing, Nothing)

    Erase m_pAdjEdgeGeo
    Erase m_pAdjJctGeo
    Erase m_pAltAdjEdgeGeo
    Erase m_pAltAdjJctGeo
    m_AdjCount = 0
    m_AltAdjCount = 0
    atjct = AtJunctionEID(False)
    pFwdStar.FindAdjacent 0, atjct, m_AdjCount
    If m_AdjCount > 0 Then
        ReDim m_pAdjEdgeGeo(m_AdjCount - 1)
        ReDim m_pAdjJctGeo(m_AdjCount - 1)
        FillAdjacentEdgeGeometries pFwdStar, m_AdjCount, m_pAdjEdgeGeo()
        FillAdjacentJctGeometries pFwdStar, m_AdjCount, m_pAdjJctGeo()
    End If

    Select Case eltttype
    Case esriETEdge
        atjct = AtJunctionEID(True)
        pFwdStar.FindAdjacent 0, atjct, m_AltAdjCount
        If m_AltAdjCount > 0 Then
            ReDim m_pAltAdjEdgeGeo(m_AltAdjCount - 1)
            ReDim m_pAltAdjJctGeo(m_AltAdjCount - 1)
            FillAdjacentEdgeGeometries pFwdStar, m_AltAdjCount, m_pAltAdjEdgeGeo()
            FillAdjacentJctGeometries pFwdStar, m_AltAdjCount, m_pAltAdjJctGeo()
        End If
    End Select
End Sub

'Fill the adjacent edge geometry array
Private Sub FillAdjacentEdgeGeometries(pFwdStar As IForwardStar, _
    ByVal cnt As Long, ByRef arr() As IGeometry)

    Dim i As Long
    Dim eid As Long
    Dim blnRev As Boolean
    Dim vntwt As Variant

```

```

For i = 0 To cnt - 1
    pFwdStar.QueryAdjacentEdge i, eid, blnRev, vntwt
    Set arr(i) = m_pGN.GeometryForEdgeEID(eid)
Next
End Sub

'fill the adjacent junction geometry array
Private Sub FillAdjacentJctGeometries(pFwdStar As IForwardStar, _
    ByVal cnt As Long, ByRef arr() As IGeometry)

    Dim i As Long
    Dim eid As Long
    Dim vntwt As Variant

    For i = 0 To cnt - 1
        pFwdStar.QueryAdjacentJunction i, eid, vntwt
        Set arr(i) = m_pGN.GeometryForJunctionEID(eid)
    Next
End Sub

'Get the geometry of a network element
Private Function GetNetGeometry(pFeat As IFeature, lngEID As Long)
    Dim pComplexEdgeFeat As IComplexEdgeFeature
    Dim pGeom As IGeometry
    Dim elttpe As esriElementType

    Set GetNetGeometry = Nothing 'default
    Set pGeom = Nothing
    If pFeat Is Nothing Or lngEID <= 0 Then Exit Function

    Select Case pFeat.FeatureType
    Case esriFTSimpleJunction, esriFTSimpleEdge
        Set pGeom = pFeat.Shape
    Case esriFTComplexEdge
        Set pComplexEdgeFeat = pFeat
        Set pGeom = pComplexEdgeFeat.GeometryForEID(lngEID)
    Case esriFTComplexJunction: 'TODO: implement this case...
    Case Else
    End Select
    Set GetNetGeometry = pGeom
End Function

'Get a feature cursor for finding features in feature class
'pFC in envelope pEnv
Private Function GetSpatialFeatureCursor(pFC As IFeatureClass, pEnv As IEnvelope, _
    pSpatialRef As ISpatialReference) As IFeatureCursor

    Dim pFilter As ISpatialFilter
    Dim shpField As String

    Set pFilter = New SpatialFilter
    With pFilter
        Set .Geometry = pEnv
        shpField = pFC.ShapeFieldName
        .GeometryField = shpField
        .SpatialRel = esriSpatialRelIntersects
        Set .OutputSpatialReference(shpField) = pSpatialRef
    End With
    Set GetSpatialFeatureCursor = pFC.Search(pFilter, False)
End Function

'Find the network elements corresponding to a given OID. If the feature
'represents a complex edge there may be multiple corresponding elements
Private Property Get EIDsByOID(lngOID As Long, lngClsID As Long, elttpe As esriElementType)
As IEnumNetEID
    Dim pNetElements As INetElements

    Set EIDsByOID = Nothing
    If Not Me.HasNetwork Then Exit Property
    Set pNetElements = m_pGN.Network
    Set EIDsByOID = pNetElements.GetEIDs(lngClsID, lngOID, elttpe)
End Property

'Find the feature corresponding to a network element
Private Property Get EIDFeature(lngEID As Long, elttpe As esriElementType) As IFeature
    Dim pNetElts As INetElements

```



```

Dim lngUserClassId As Long
Dim lngUserID As Long
Dim lngUserSubID As Long
Dim pEnumFC As IEnumFeatureClass
Dim pFeat As IFeature
Dim blnFound As Boolean
Dim blnValidElt As Boolean

On Error Resume Next

Set EIDFeature = Nothing
blnFound = False
If Not NetInfo.HasNetwork Then Exit Sub
Set pNetElts = m_pGN.Network
blnValidElt = False
blnValidElt = pNetElts.IsValidElement(lngEID, eltype)
If blnValidElt Then
    pNetElts.QueryIDs lngEID, eltype, lngUserClassId, lngUserID, lngUserSubID
    'TODO: Do Something with this info...
    Select Case eltype
    Case esriETJunction
        Set pEnumFC = GetEnumNetFC(esriFTSimpleJunction)
        If FindFeature(pEnumFC, lngUserClassId, lngUserID, pFeat) Then
            blnFound = True
        End If
        'TODO: Handle Complex Junction...
    Case esriETEdge
        Set pEnumFC = GetEnumNetFC(esriFTSimpleEdge)
        If Not FindFeature(pEnumFC, lngUserClassId, lngUserID, pFeat) Then
            Set pEnumFC = GetEnumNetFC(esriFTComplexEdge)
            If FindFeature(pEnumFC, lngUserClassId, lngUserID, pFeat) Then
                blnFound = True
            End If
        Else
            blnFound = True
        End If
    End Select
Else
    blnFound = False
End If
If blnFound Then Set EIDFeature = pFeat
End Property

'Find the closest feature to ppt using the pFCursor feature cursor
Private Function FindClosestFeature(ppt As IPoint, pFCursor As IFeatureCursor, _
    pFeat As IFeature) As Double

    Dim pFeatBest As IFeature
    Dim distbest As Double
    Dim dist As Double
    Dim pProximity As IProximityOperator

    FindClosestFeature = -1
    Set pFeat = Nothing
    Set pFeatBest = Nothing
    Set pFeat = Nothing
    distbest = -1
    dist = -1
    Set pProximity = ppt

    If pFCursor Is Nothing Then Exit Function
    Set pFeat = pFCursor.NextFeature
    Do While Not pFeat Is Nothing
        dist = pProximity.ReturnDistance(pFeat.Shape)
        If distbest < 0 Or (dist < distbest) Then
            distbest = dist
            Set pFeatBest = pFeat
            If distbest = 0 Then Exit Do
        End If
        Set pFeat = pFCursor.NextFeature
    Loop
    Set pFeat = pFeatBest
    FindClosestFeature = distbest
End Function

'If pFeat is a complex edge it may represent multiple network
'elements. Among these network elements find the one whose geometry

```

```

'is closest to ppt
Private Function FindClosestEID(ppt As IPoint, pFeat As IFeature) As Long
    Dim pSimpleJctFeat As ISimpleJunctionFeature
    Dim pSimpleEdgeFeat As ISimpleEdgeFeature
    Dim pComplexEdgeFeat As IComplexEdgeFeature
    'Dim pComplexJctFeat As IComplexJctFeature
    Dim lngEID As Long

    lngEID = 0 'default
    If pFeat Is Nothing Then Exit Function
    Select Case pFeat.FeatureType
    Case esriFTSimpleEdge
        Set pSimpleEdgeFeat = pFeat
        lngEID = pSimpleEdgeFeat.eid
    Case esriFTSimpleJunction
        Set pSimpleJctFeat = pFeat
        lngEID = pSimpleJctFeat.eid
    Case esriFTComplexEdge
        Set pComplexEdgeFeat = pFeat
        lngEID = FindClosestComplexEdgeEID(ppt, pComplexEdgeFeat)
    Case esriFTComplexJunction
        'TODO: implement complex junction case...
        'Set pComplexJct = pFeat
    Case Else
    End Select
    FindClosestEID = lngEID
End Function

'Get the element ids associated with a complex edge feature pfeat
Private Function GetComplexEdgeEIDS(pFeat As IFeature) As IEnumNetEID
    Dim pEnumNetEID As IEnumNetEID
    Dim pNetElements As INetElements
    Dim pFC As IFeatureClass
    Dim lngUserClassId As Long
    Dim lngUserID As Long

    Set GetComplexEdgeEIDS = Nothing 'default
    If m_pGN Is Nothing Then Exit Function
    If pFeat Is Nothing Then Exit Function
    If Not TypeOf pFeat Is IComplexEdgeFeature Then Exit Function
    Set pFC = pFeat.Class
    lngUserClassId = pFC.FeatureClassID
    lngUserID = pFeat.OID
    Set pNetElements = m_pGN.Network
    Set pEnumNetEID = pNetElements.GetEIDS(lngUserClassId, lngUserID, esriETEdge)
    If Not pEnumNetEID Is Nothing Then
        pEnumNetEID.Reset
    End If
    Set GetComplexEdgeEIDS = pEnumNetEID
End Function

'If pFeat is a complex edge it may represent multiple network
'elements. Among these network elements find the one whose geometry
'is closest to ppt
Private Function FindClosestComplexEdgeEID(ppt As IPoint, pFeat As IFeature) As Long
    Dim pEnumNetEID As IEnumNetEID
    Dim pComplexEdgeFeat As IComplexEdgeFeature
    Dim distbest As Double
    Dim dist As Double
    Dim pProximity As IProximityOperator
    Dim lngEID As Long
    Dim lngBestEID As Long
    Dim pGeom As IGeometry
    Dim cnt As Long
    Dim i As Long

    FindClosestComplexEdgeEID = 0 'default
    If ppt Is Nothing Then Exit Function
    Set pEnumNetEID = GetComplexEdgeEIDS(pFeat)
    If pEnumNetEID Is Nothing Then Exit Function
    Set pComplexEdgeFeat = pFeat
    distbest = -1
    dist = -1
    lngEID = 0
    lngBestEID = 0
    Set pProximity = ppt

```

```
cnt = pEnumNetEID.Count
For i = 1 To cnt
    Set pProximity = ppt
    lngEID = pEnumNetEID.Next
    Set pGeom = pComplexEdgeFeat.GeometryForEID(lngEID)
    dist = pProximity.ReturnDistance(pGeom)
    If distbest < 0 Or (dist < distbest) Then
        distbest = dist
        lngBestEID = lngEID
        If distbest = 0 Then Exit For
    End If
Next
FindClosestComplexEdgeEID = lngBestEID
End Function
```


Annexe 15 : Distinction du trafic ferroviaire « autre » et transalpin

Importation de la couche relative au trafic ferroviaire total (« TraficFerroviaireTotalAB ») et de la couche relative au trafic transalpin (« TraficFerroviaireTransalpin ») dans ArcMap.

Dans l'objectif d'associer les données relatives au trafic total et transalpin une jointure est effectuée à partir de la couche relative au trafic total (« TraficFerroviaireTotalAB ») vers la couche relative au trafic transalpin (« TraficFerroviaireTransalpin ») : « Join », « Join attributes from a table » (champ : IDtronconA), TraficFerroviaireTransalpin (champ : IDtronconA).

Les données résultant de cette jointure sont exportées dans la base de données BD_ALPSIG : « Data », « Export data ». On obtient : TraficFerroviaireAlpesAutre.

Suppression de la jointure.

Dans l'objectif de travailler ces données, cette couche est copiée et exportée sous l'espace de travail « Scratch_ws » et est nommée : TraficFerroviaireAlpesAutreOk

Cf. Modèle « TraitementDonneesRail4 »

- Suppression des champs devenus inutiles (« Delete field ») - seules les valeurs annuelles sont conservées (1)
- Exportation de la couche TraficFerroviaireAlpesAutreOk du Scratch_ws vers la base de données BD_ALPSIG (2)³⁰
- A partir des volumes de trafic total, la proportion de trains circulant le jour et la nuit pour les trains voyageurs ainsi que pour les trains marchandises est calculée:

Trafic marchandises :

Il est convenu de commencer à calculer la valeur de ces champs avec le trafic diurne étant donné que le trafic de marchandises circule plutôt durant la nuit ; ainsi, où il y a un risque d'erreur (pas de train dans le trafic total mais un train dans le trafic transalpin), ce train circulera durant la nuit.

Le champ « PropTmsJAn » (« Add field ») - (3)

La valeur 0 est mise par défaut pour ce champ (4)

Sélection des tronçons où [NbTmsJAn] > 0 (5) - (« MakeFeatureLayer »)

Pour cette sélection le champ est calculé (« Calculated field ») - (6) :

$\text{PropTmsJAn} = ([\text{NbTmsJAn}] * 100) / ([\text{NbTmsJAn}] + [\text{NbTmsNAn}])$

Ajout du champ « PropTmsNAn » (« Add field ») - (7)

Calcul de ce champ (« Calculated field ») - (8) :

$\text{PropTmsNAn} = 100 - [\text{PropTmsJAn}]$

Trafic voyageurs :

Il est convenu de commencer à calculer la valeur de ces champs avec le trafic nocturne étant donné que le trafic de voyageurs circule plutôt durant la journée.

Ajout du champ « PropTvoyNAn » (« Add field ») - (9)

La valeur 0 est mise par défaut pour ce champ (10)

Sélection des tronçons où [NbTvoyNAn] > 0 (11) - (« MakeFeatureLayer »)

Pour cette sélection le champ est calculé (« Calculated field ») - (12) : $\text{PropTvoyNAn} = ([\text{NbTvoyNAn}] * 100) / ([\text{NbTvoyNAn}] + [\text{NbTvoyJAn}])$

Ajout du champ « PropTvoyJAn » (« Add field ») - (13)

Calcul de ce champ (« Calculated field ») - (14) :

$\text{PropTvoyJAn} = 100 - [\text{PropTvoyNAn}]$

- Compte tenu des proportions obtenues, il est possible de distinguer le trafic transalpin diurne et nocturne:
Ajout des colonnes suivantes (« Add field ») - (15-20): A_ToNetJ99, A_ToNetN99, A_ToBrutJ99, A_ToBrutN99, A_NbTmsJ99, A_NbTmsN99

Calcul de ces champs (« Calculated field ») - (21-26) :

$\text{A_ToNetJ99} = [\text{A_ToNet99}] * ([\text{PropTmsJAn}] / 100)$

$\text{A_ToNetN99} = [\text{A_ToNet99}] * ([\text{PropTmsNAn}] / 100)$

$\text{A_ToBrutJ99} = [\text{A_ToBrut99}] * ([\text{PropTmsJAn}] / 100)$

$\text{A_ToBrutN99} = [\text{A_ToBrut99}] * ([\text{PropTmsNAn}] / 100)$

$\text{A_NbTmsJ99} = [\text{A_NbTms99}] * ([\text{PropTmsJAn}] / 100)$

$\text{A_NbTmsN99} = [\text{A_NbTms99}] * ([\text{PropTmsNAn}] / 100)$

- Calcul des volumes de trafic « Autres » = « Total » - « Alpes » pour le trafic marchandises (27- 34):

Ajout des champs suivants (« Add field ») - (27-30) :

ENbTmsJAn

ENbTmsNAn

EToBrutJAn

EToBrutNAn

Calcul de ces champs (« Calculated field ») - (31-34):

$\text{ENbTmsJAn} = [\text{NbTmsJAn}] - [\text{A_NbTmsJ99}]$

$\text{ENbTmsNAn} = [\text{NbTmsNAn}] - [\text{A_NbTmsN99}]$

$\text{EToBrutJAn} = [\text{ToBrutJAn}] - [\text{A_ToBrutJ99}]$

$\text{EToBrutNAn} = [\text{ToBrutNAn}] - [\text{A_ToBrutN99}]$

Il n'est pas nécessaire d'avoir les tonnes nettes pour le trafic « autre ». Par contre, les tonnes nettes sont utiles pour le trafic transalpin afin de pouvoir émettre des hypothèses et établir des scénarios relatifs au transfert modal du trafic de marchandises transalpin.

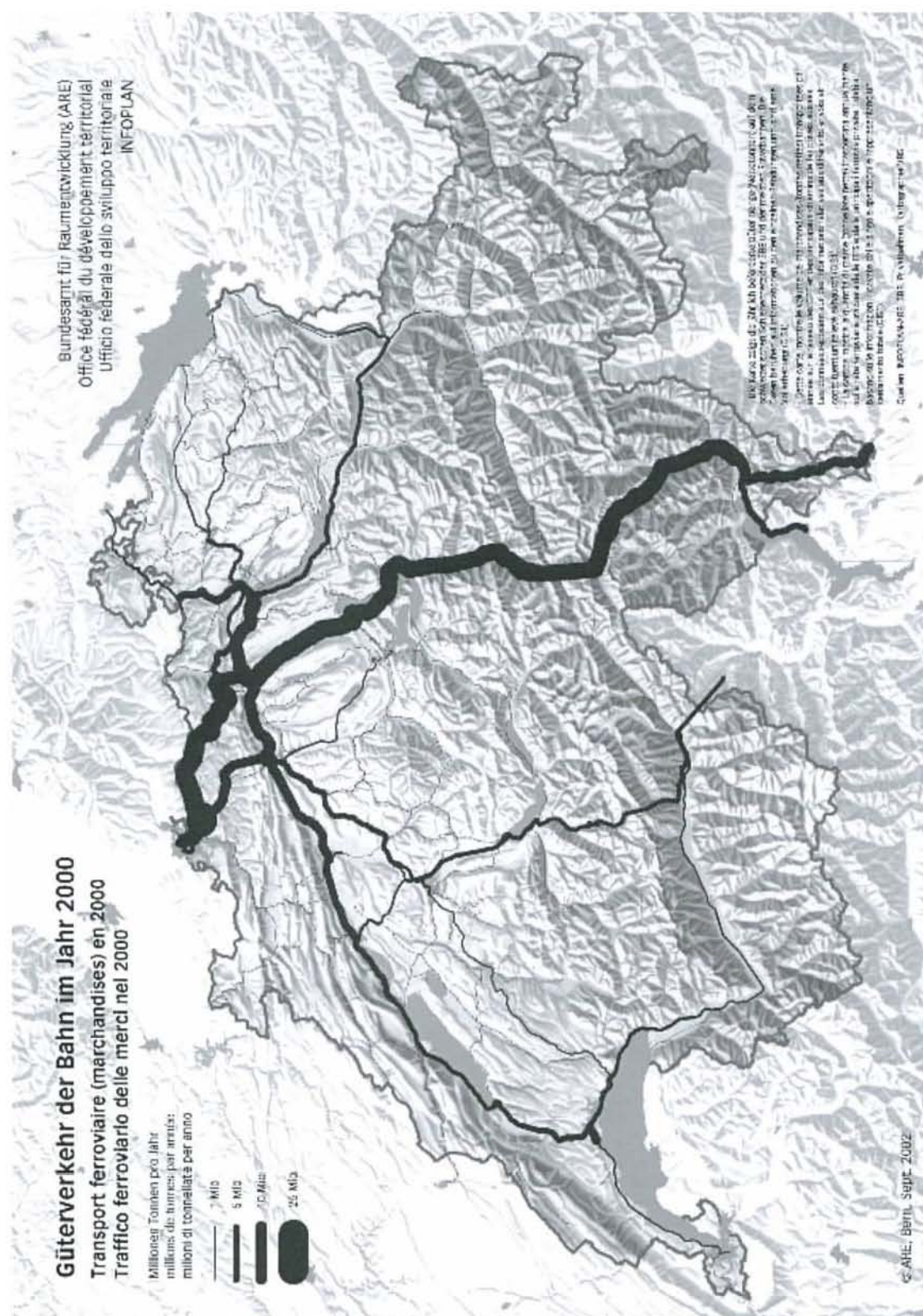
- Une sélection par attributs est effectuée afin de vérifier la qualité des données :
 $[\text{ENbTmsNAn}] < 0 \text{ OR } [\text{ENbTmsJAn}] < 0$

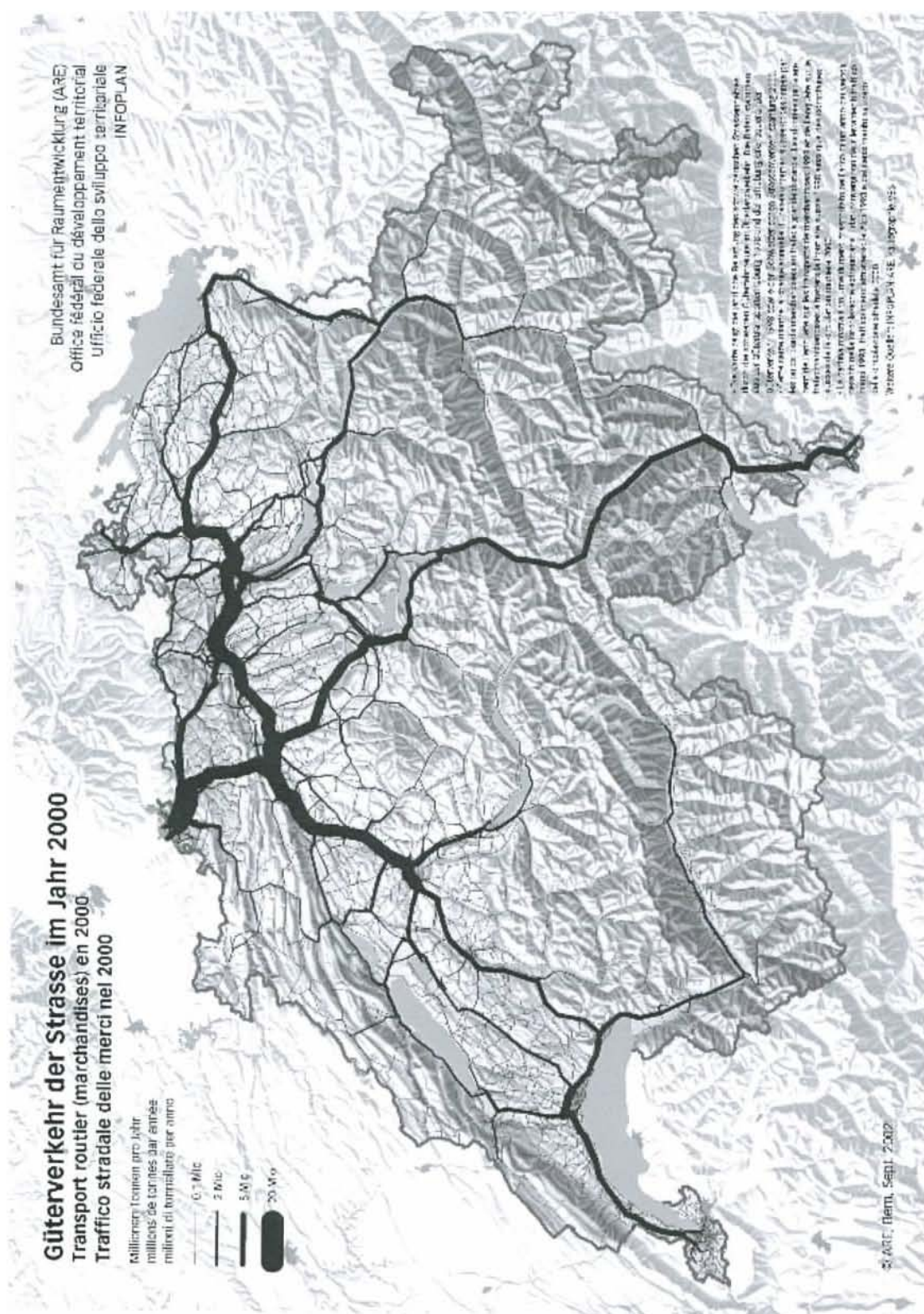
³⁰ L'exportation des couches permet de sauvegarder les résultats intermédiaires. De plus, certains problèmes rencontrés peuvent être résolus lorsqu'une couche est exportée dans un autre format (ex. : shapefile ; Access).

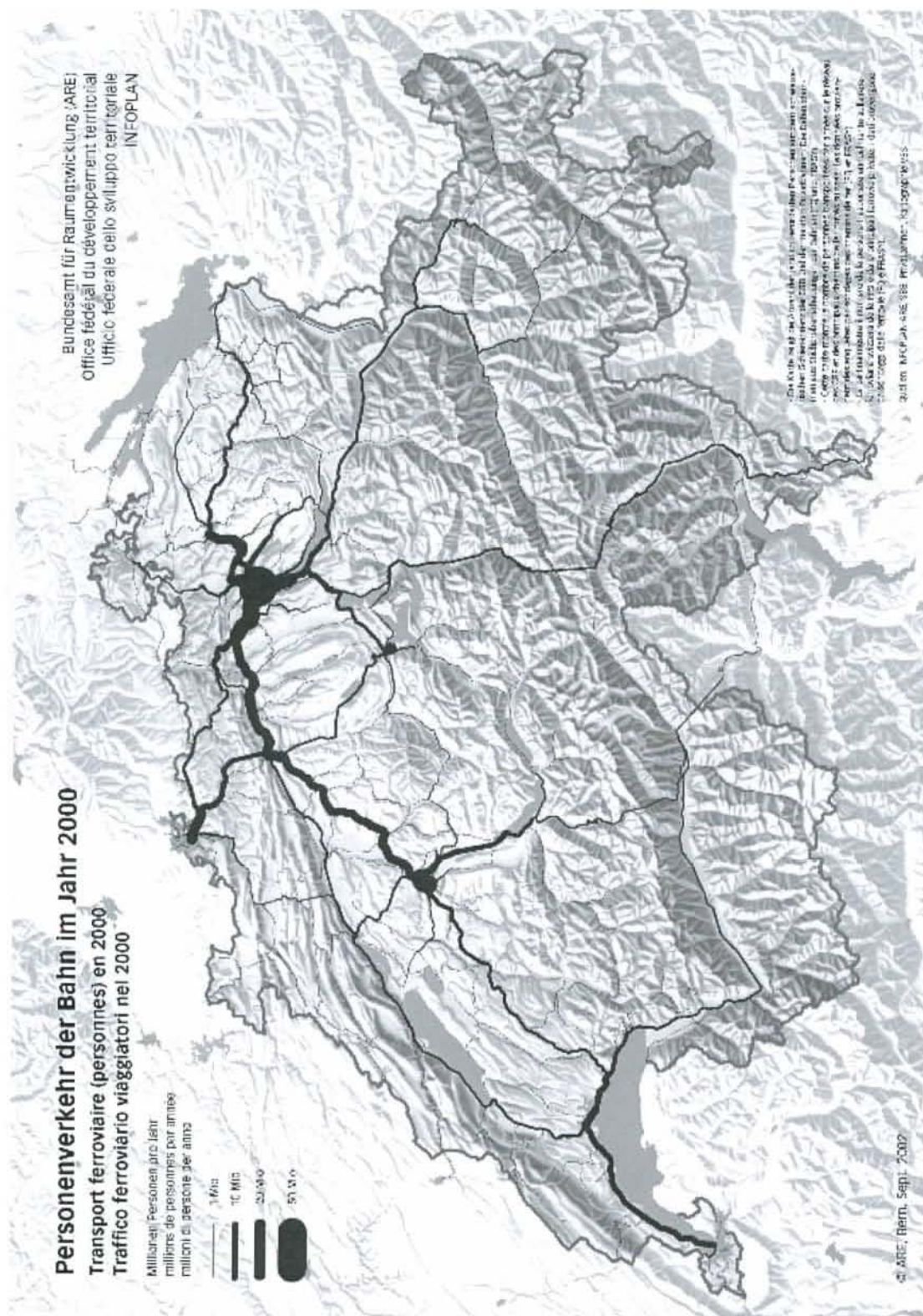
Il est essentiel de vérifier si des trains marchandises peuvent bien circuler sur ces itinéraires. Cette vérification est menée en consultant carte « Transport ferroviaire (marchandises) en 2000 » de l'ARE (Bern, Septembre 2002) et en la présentant à des personnes compétentes dans ce domaine.

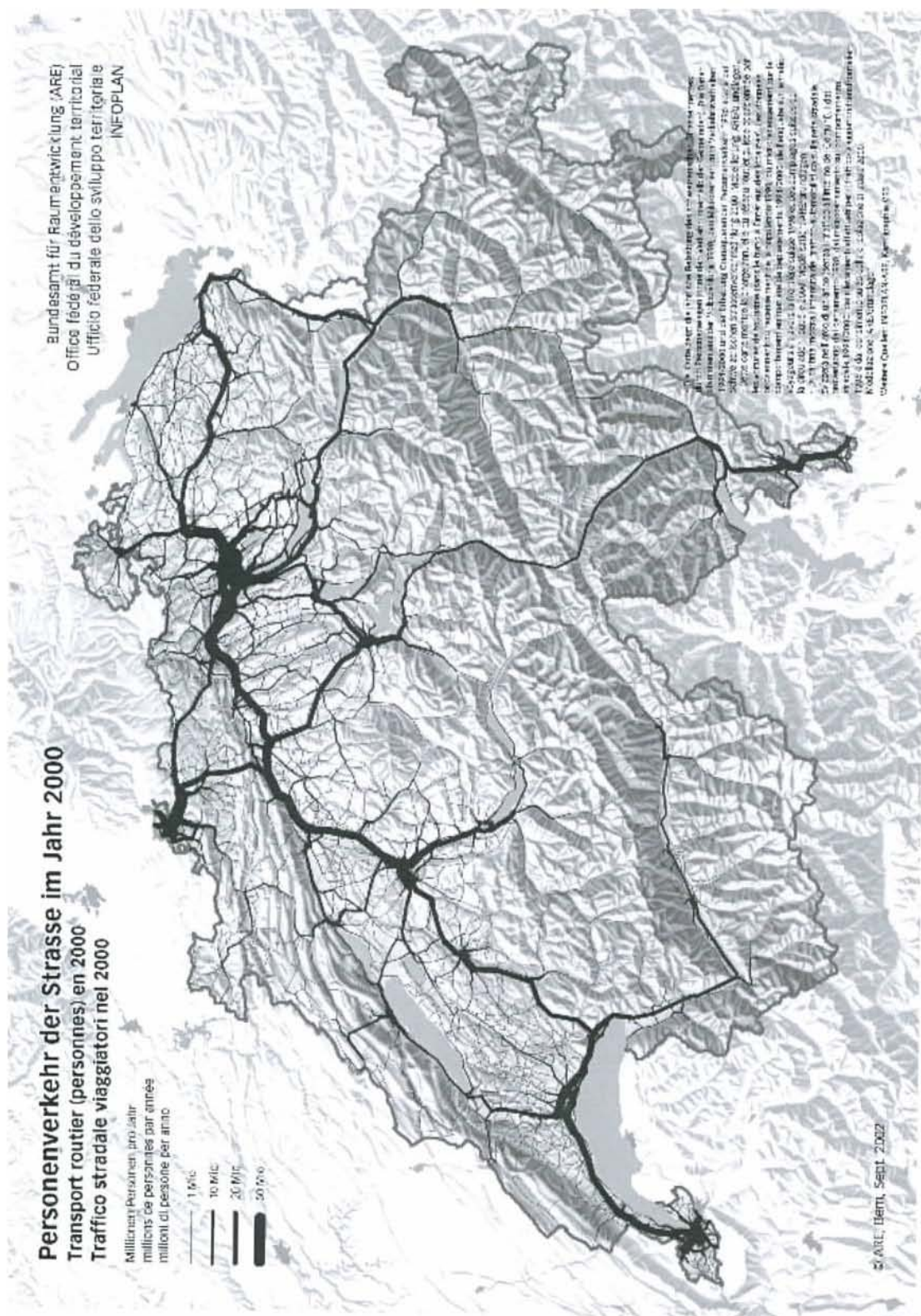
- Afin d'éviter d'avoir des valeurs négatives (juste en dessous de 0), les résultats du trafic « autre » sont arrondis à 0 (35-42):
 « MakeFeatureLayer »: [ENbTmsJAn]<0 et « Calculate Field »: ENbTmsJAn=0
 « MakeFeatureLayer »: [ENbTmsNAn]<0 et « Calculate Field »: ENbTmsNAn=0
 « MakeFeatureLayer »: [EToBrutJAn]<0 et « Calculate Field »: EToBrutJAn=0
 « MakeFeatureLayer »: [EToBrutNAn]<0 et « Calculate Field »: EToBrutNAn=0
- Suppression des champs du trafic marchandises total d'origine (43): NbTmsJAn, NbTmsNAn, ToBrutJAn, ToBrutNAn.
- Calcul du trafic de marchandises total diurne et nocturne suite aux modifications précédentes (44-47):
 « Add field »/« Calculate field »:
 $TNbTmsJAn = [A_NbTmsJ99] + [ENbTmsJAn]$
 $TNbTmsNAn = [A_NbTmsN99] + [ENbTmsNAn]$

Annexe 16 : Trafic ferroviaire et routier de personnes et de marchandises en Suisse (année 2000 / source : ARE)









Annexe 17 : Distinction du trafic routier « autre » et transalpin

Cf. modèle « TraitementDonneesRoute3Final »

Préparation des données :

- Dans la couche du trafic transalpin (« TraficRoutierTransalpin10/Corr3 »), les enregistrements dont la longueur est égale à 0 (« shape length » = 0) sont éliminés³¹ (il reste alors 2066 enregistrements sur 2086).
- Regroupement (« Dissolve ») des enregistrements relatifs au trafic transalpin (« TraficRoutierTransalpin10/Corr3 ») ayant une même longueur (shape length) afin d'avoir le trafic transalpin dans les deux sens Cf. TraitementDonneesRoutes3Final (2). La couche « TraficRoutierTransalpinDiss » contient alors 1033 enregistrements (2066/2).
- Exportation de la couche « TraficRoutierTotal01234 » vers la base de données BD_ALPSIG_RouteDonneesBase (3)
- Ajout de nouvelles colonnes (noms plus explicites / « Add field ») qui sont calculées en reprenant les anciennes valeurs (trafic journalier moyen les jours ouvrables) et en les multipliant par 264 (trafic annuel moyen les jours ouvrables) (4-27)
- Ajout de deux champs (« LWLS_0622 » et « LWLS_2206 »³²) afin de connaître le nombre de poids lourds dans le trafic total (2 sens) – (28-31).
- Suppression des champs devenus inutiles (32).
- L'hypothèse, selon laquelle le trafic routier transalpin de marchandises circule principalement durant le jour (6h-22h), est admise. Par conséquent, l'hypothèse selon laquelle le trafic transalpin se répartit de la même manière que le trafic total de marchandises durant le jour et la nuit (faible pourcentage la nuit lié aux autorisations spéciales)³³ est également admise.

Calcul du trafic routier « autre » :

- Ajout des champs suivants (« Add field ») et calcul de la proportion de trafic lourd circulant durant la nuit et durant le jour (« Make feature layer » et « Calculate field »):

$$\text{Si } [LWLS_0622] + [LWLS_2206] > 0 \text{ (33-44 et plus):}$$

$$\text{PropLWLS_0622} = ([LWLS_0622] * 100) / ([LWLS_0622] + [LWLS_2206])$$

$$\text{PropLWLS_2206} = ([LWLS_2206] * 100) / ([LWLS_0622] + [LWLS_2206])$$

$$\text{Si } [LWLS_0622] + [LWLS_2206] = 0 \text{ (33-47)}$$

$$\text{PropLWLS_0622} = 0$$

$$\text{PropLWLS_2206} = 0$$

$$\text{Si } [LW_0622] + [LW_2206] > 0$$

$$\text{PropLW_0622} = ([LW_0622] * 100) / ([LW_0622] + [LW_2206])$$

$$\text{PropLW_2206} = ([LW_2206] * 100) / ([LW_0622] + [LW_2206])$$

$$\text{Si } [LW_0622] + [LW_2206] = 0$$

$$\text{PropLW_0622} = 0$$

$$\text{PropLW_2206} = 0$$

$$\text{Si } [LS_0622] + [LS_2206] > 0$$

$$\text{PropLS_0622} = ([LS_0622] * 100) / ([LS_0622] + [LS_2206])$$

$$\text{PropLS_2206} = ([LS_2206] * 100) / ([LS_0622] + [LS_2206])$$

$$\text{Si } [LS_0622] + [LS_2206] = 0$$

$$\text{PropLS_0622} = 0$$

$$\text{PropLS_2206} = 0$$
- Dans ArcMap et depuis la couche relative au trafic total une jointure spatiale est réalisée avec la couche relative au trafic transalpin (« TraficRoutierTransalpinDiss ») : « each line will be given all the attributes... ». La couche résultant de cette jointure spatiale est nommée « TraficRoutierAutre ».
- Pour les enregistrements ayant une valeur de trafic transalpin > 0 les colonnes relatives au trafic marchandises sont recalculées (trafic « total » – trafic « transalpin » = trafic « autre ») – (48-58) (« Make feature layer » et « Calculate field »):

$$\text{Si } [SUM_A_NbVeh99] > 0$$

$$LWLS_0622 = [LWLS_2206] - ([SUM_A_NbVeh99] * ([PropLWLS_2206]/100))$$

$$LWLS_2206 = [LWLS_2206] - ([SUM_A_NbVeh99] * [PropLWLS_2206])$$

$$\text{Si } [PropLW_0622] > 0$$

$$LW_0622 = [LWLS_0622] * ([PropLW_0622]/100)$$

$$\text{Si } [PropLW_2206] > 0$$

$$LW_2206 = [LWLS_2206] * ([PropLW_2206]/100)$$

$$\text{Si } [PropLS_2206] > 0$$

$$LS_2206 = [LWLS_2206] * ([PropLS_2206]/100)$$

$$\text{Si } [PropLS_0622] > 0$$

$$LS_0622 = [LWLS_0622] * ([PropLS_0622]/100)$$
- Vérification des données obtenues :
Sélection par attributs : $[LWLS_2206] < 0$ OR $[LWLS_0622] < 0$
147 enregistrements sont sélectionnés
Quelques corrections manuelles sont apportées (notamment mise à 0 des 43 derniers enregistrements présentant une valeur juste inférieure à 0).
On obtient : ReseauRoutierOk10Corr et TraficRoutierTotal01234Corr

Calcul de la déclivité des tronçons routiers « autres » et des tronçons transalpins :

³¹ Remarque : La présence d'enregistrements ayant une longueur nulle posent problème lors de l'utilisation de l'outil « dissolve » : fermeture d'ArcCatalog.

³² Regroupement des catégories LS (train routier) et LW (camion)

³³ « La circulation des véhicules motorisés lourds destinés au transport des marchandises est interdite la nuit de 22 h à 5 h et le dimanche » (article 2 de la LCR (LCR 2004)). Cette interdiction présente toutefois certaines exceptions (CH 1992).

- Création d'un réseau géométrique avec la couche relative au trafic routier « autre » (« TraficRoutierAutre ») : RouteAutre_Net (211 invalid features)
- Exportation des jonctions de ce réseau (« TraficRoutierAutre_Net_Junctions ») vers la même base de données. On obtient : TraficRoutierAutreNetJunctions
- Suppression du réseau TraficRoutierAutre_Net
- Ajout du champ « JoinOD » (« Add field » - Long Integer) à la couche junctions (« TraficRoutierAutreNetJunctions ») : « start editing », JoinOD = OBJECTID
- Exportation de la couche relative au trafic « autre » (« TraficRoutierAutre ») et de la couche relative aux jonctions (« TraficRoutierAutreNetJunctions ») dans Scratch_ws afin d'avoir des couches en format shapefiles (.shp)
- Vérification qu'aucun tronçon n'a une longueur inférieure à 0 (shape length < 0). Si c'est le cas ce/s tronçon/s sont supprimés.
- Suppression des champs inutiles (Objectid_3, Avg_object, Avg_OBJ_1, Shape_Le_1, Shape_Leng, Avg_Enable)
- Transfert de la valeur de la colonne « JoinOD » de la couche jonctions vers les tronçons routiers en utilisant le script « Transférer un attribut des nœuds vers les polygones connectés »³⁴. Une colonne « Origine » et une colonne « Destin » sont ajoutées à la couche TraficRoutierAutre. La valeur de ces colonnes est égale à la valeur de la colonne « JoinOD » se trouvant à proximité.
- Calcul de l'altitude des jonctions (« TraficRoutierAutreNetJunctions ») avec le script « Extraction de la valeur Z d'une grille avec un thème de point ». L'altitude figure dans le champ « Elevation ».
- Après avoir supprimé les anciens fichiers, les couches TraficRoutierAutreNetJunctions (TraficRoutierAutre_Junctions) et TraficRoutierAutre (TraficRoutierAutre_) sont importées dans la base de données BD_ALPSIG_RouteDonneesBase
- Importation de la couche NoeudsRoutiersAccrochesOk10NomsCorr(2/3) dans la base de données BD_ALPSIG_RouteDonneesBase
- Dans ArcMap, depuis la couche relative au trafic transalpin (« TraficRoutierTransalpin10Corr(2/3) » ; champ : A_Noda), une jointure est faite avec la couche des nœuds (« NoeudsRoutiersAccrochesOk10NomsCorr(2) » ; champ : NOD_R). Les résultats sont exportés dans la base de données. On obtient : TraficRoutierTransalpinA. Suppression de la jointure (« Remove Join »). Une nouvelle colonne « Z_Noda » (« Add field » ; long integer) est créée dans cette couche et est calculée (= Elevation). Suppression des colonnes inutiles (NOD_R, x, y, Elevation).
- Depuis cette couche (« TraficRoutierTransalpinA » ; champ : A_Nodb), une jointure est faite avec la couche des nœuds (« NoeudsRoutiersAccrochesOk10NomsCorr(2) » ; champ : NOD_R). Les résultats sont exportés dans la base de données. On obtient : TraficRoutierTransalpinOk. Suppression de la jointure (« Remove Join »). Une nouvelle colonne « Z_Nodb » (« Add field » ; long integer) est créée dans cette couche et est calculée (= Elevation). Suppression des colonnes inutiles (NOD_R, x, y, Elevation).
- Une colonne « A_FRC » est ajoutée (« Add field » ; short integer) dans cette couche (« TraficRoutierTransalpinOk »). Cette colonne est destinée à contenir une valeur représentant la catégorie de la route (1, 2, 3, 4). Au moyen d'une sélection spatiale, une valeur est attribuée aux tronçons de la couche TraficRoutierTransalpinOk se trouvant au même niveau qu'un certain type de route : « select by location », « share a line segment with », local_roads_04, A_FRC = 4, etc. Commencer par les catégories de routes les moins importantes.
- Dans ArcMap, une jointure est réalisée depuis la couche représentant le trafic « autre » (TraficRoutierAutre ou TraficRoutierAutre_ ; champ : Origine), avec la couche représentant les jonctions (TraficRoutierAutreNetJunctions (TraficRoutierAutre_Junctions ; champ : JoinOD). Les résultats sont exportés et on obtient : TraficRoutierAutre_O. La jointure est annulée (« Remove Join »). Dans la table TraficRoutierAutre_O une nouvelle colonne « Z_Orig » (« Add field » ; long integer) est créée et calculée (= Elevation). Suppression des champs inutiles (Elevation, JoinOD).
- Dans ArcMap, depuis TraficRoutierAutre_O (Destin), une jointure est faite avec la couche des jonctions (TraficRoutierAutreNetJunctions ou TraficRoutierAutre_Junctions ; champ : JoinOD). Les résultats sont exportés et on obtient : TraficRoutierAutreOk. La jointure est annulée (« Remove Join »). Dans la table TraficRoutierAutreOk une nouvelle colonne « Z_Dest » (« Add field » ; long integer) est créée et calculée (= Elevation). Suppression des champs inutiles (Elevation, JoinOD).
- Calcul de la déclivité des tronçons transalpins: Cf. modèle « TraitementDonneesRoutes3Final » (59-75)
- Calcul de la déclivité des tronçons « autres » Cf. modèle « TraitementDonneesRoutes3Final » (76-108)

³⁴ Développé par Guillaume Tournadre et Gaëtan Lavenue d'ESRI France – mis à jour en février 2004 (<http://support.esri.fr>).

Annexe 18 : Coefficients d'émission MICET

Emissions "à chaud" (par catégorie de véhicules)

Catégorie de véhicules	Année	Structure du trafic	Composants	Energie	Catégorie de routes	Conditions de circulation	Décliv.	Vitesse	Coeff.
							%	km/h	g/km
Cas		EmissionsSelonMICET[2.1], Emissions "à chaud" (par catégorie de véhic							
VT	1999	Base	HC		AR	AR_120	+/-0%	115.9	0.118
VT	1999	Base	HC		AR	AR_120	-6%	116.0	0.129
VT	1999	Base	HC		AR	AR_120	-4%	116.0	0.087
VT	1999	Base	HC		AR	AR_120	-2%	115.9	0.102
VT	1999	Base	HC		AR	AR_120	+2%	115.9	0.227
VT	1999	Base	HC		AR	AR_120	+4%	113.3	0.335
VT	1999	Base	HC		AR	AR_120	+6%	113.3	0.450
VT	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	+/-0%	77.0	0.090
VT	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	-6%	60.9	0.157
VT	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	-4%	60.9	0.152
VT	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	-2%	77.0	0.117
VT	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	+2%	77.0	0.149
VT	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	+4%	59.8	0.201
VT	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	+6%	59.8	0.241
VT	1999	Base	CO		AR	AR_120	+/-0%	115.9	2.080
VT	1999	Base	CO		AR	AR_120	-6%	116.0	0.655
VT	1999	Base	CO		AR	AR_120	-4%	116.0	0.707
VT	1999	Base	CO		AR	AR_120	-2%	115.9	1.387
VT	1999	Base	CO		AR	AR_120	+2%	115.9	6.666
VT	1999	Base	CO		AR	AR_120	+4%	113.3	11.343
VT	1999	Base	CO		AR	AR_120	+6%	113.3	16.372
VT	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	+/-0%	77.0	0.837
VT	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	-6%	60.9	0.429
VT	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	-4%	60.9	0.869
VT	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	-2%	77.0	0.870
VT	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	+2%	77.0	2.044
VT	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	+4%	59.8	2.268
VT	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	+6%	59.8	3.473
VT	1999	Base	NOx		AR	AR_120	+/-0%	115.9	0.777
VT	1999	Base	NOx		AR	AR_120	-6%	116.0	0.135
VT	1999	Base	NOx		AR	AR_120	-4%	116.0	0.313
VT	1999	Base	NOx		AR	AR_120	-2%	115.9	0.544
VT	1999	Base	NOx		AR	AR_120	+2%	115.9	0.923
VT	1999	Base	NOx		AR	AR_120	+4%	113.3	1.151
VT	1999	Base	NOx		AR	AR_120	+6%	113.3	1.359
VT	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	+/-0%	77.0	0.359
VT	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	-6%	60.9	0.080
VT	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	-4%	60.9	0.160
VT	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	-2%	77.0	0.252
VT	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	+2%	77.0	0.537
VT	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	+4%	59.8	0.622
VT	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	+6%	59.8	0.841
VT	1999	Base	Part		AR	AR_120	+/-0%	115.9	0.009
VT	1999	Base	Part		AR	AR_120	-6%	116.0	0.006
VT	1999	Base	Part		AR	AR_120	-4%	116.0	0.007
VT	1999	Base	Part		AR	AR_120	-2%	115.9	0.007
VT	1999	Base	Part		AR	AR_120	+2%	115.9	0.013
VT	1999	Base	Part		AR	AR_120	+4%	113.3	0.018
VT	1999	Base	Part		AR	AR_120	+6%	113.3	0.029
VT	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	+/-0%	77.0	0.004

Catégorie de véhicules	Année	Structure du trafic	Composants	Energie	Catégorie de routes	Conditions de circulation	Décliv.	Vitesse	Coeff.
							%	km/h	g/km
Cas		EmissionsSelonMICET[2.1], Emissions "à chaud" (par catégorie de véhic							
VT	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	-6%	60.9	0.004
VT	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	-4%	60.9	0.005
VT	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	-2%	77.0	0.003
VT	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	+2%	77.0	0.005
VT	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	+4%	59.8	0.012
VT	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	+6%	59.8	0.018
VT	1999	Base	CO2		AR	AR_120	+/-0%	115.9	228.865
VT	1999	Base	CO2		AR	AR_120	-6%	116.0	76.487
VT	1999	Base	CO2		AR	AR_120	-4%	116.0	123.986
VT	1999	Base	CO2		AR	AR_120	-2%	115.9	176.292
VT	1999	Base	CO2		AR	AR_120	+2%	115.9	295.327
VT	1999	Base	CO2		AR	AR_120	+4%	113.3	381.685
VT	1999	Base	CO2		AR	AR_120	+6%	113.3	463.654
VT	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	+/-0%	77.0	164.112
VT	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	-6%	60.9	49.509
VT	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	-4%	60.9	82.108
VT	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	-2%	77.0	119.084
VT	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	+2%	77.0	225.876
VT	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	+4%	59.8	279.205
VT	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	+6%	59.8	339.827
VT	1999	Base	SO2		AR	AR_120	+/-0%	115.9	0.032
VT	1999	Base	SO2		AR	AR_120	-6%	116.0	0.011
VT	1999	Base	SO2		AR	AR_120	-4%	116.0	0.017
VT	1999	Base	SO2		AR	AR_120	-2%	115.9	0.025
VT	1999	Base	SO2		AR	AR_120	+2%	115.9	0.042
VT	1999	Base	SO2		AR	AR_120	+4%	113.3	0.054
VT	1999	Base	SO2		AR	AR_120	+6%	113.3	0.066
VT	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	+/-0%	77.0	0.023
VT	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	-6%	60.9	0.007
VT	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	-4%	60.9	0.011
VT	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	-2%	77.0	0.017
VT	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	+2%	77.0	0.032
VT	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	+4%	59.8	0.039
VT	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	+6%	59.8	0.048
VL	1999	Base	HC		AR	AR_120	+/-0%	115.9	0.325
VL	1999	Base	HC		AR	AR_120	-6%	116.0	0.339
VL	1999	Base	HC		AR	AR_120	-4%	116.0	0.231
VL	1999	Base	HC		AR	AR_120	-2%	115.9	0.280
VL	1999	Base	HC		AR	AR_120	+2%	115.9	0.649
VL	1999	Base	HC		AR	AR_120	+4%	102.8	0.678
VL	1999	Base	HC		AR	AR_120	+6%	102.8	0.897
VL	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	+/-0%	77.0	0.184
VL	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	-6%	60.9	0.350
VL	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	-4%	60.9	0.341
VL	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	-2%	77.0	0.244
VL	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	+2%	77.0	0.294
VL	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	+4%	59.8	0.442
VL	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	+6%	59.8	0.504
VL	1999	Base	CO		AR	AR_120	+/-0%	115.9	9.613
VL	1999	Base	CO		AR	AR_120	-6%	116.0	3.022
VL	1999	Base	CO		AR	AR_120	-4%	116.0	3.483
VL	1999	Base	CO		AR	AR_120	-2%	115.9	6.532
VL	1999	Base	CO		AR	AR_120	+2%	115.9	28.626

Catégorie de véhicules	Année	Structure du trafic	Composants	Energie	Catégorie de routes	Conditions de circulation	Décliv.	Vitesse	Coeff.
							%	km/h	g/km
Cas		EmissionsSelonMICET[2.1], Emissions "à chaud" (par catégorie de véhic							
VL	1999	Base	CO		AR	AR_120	+4%	102.8	39.882
VL	1999	Base	CO		AR	AR_120	+6%	102.8	59.124
VL	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	+/-0%	77.0	2.413
VL	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	-6%	60.9	1.209
VL	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	-4%	60.9	2.286
VL	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	-2%	77.0	2.533
VL	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	+2%	77.0	5.760
VL	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	+4%	59.8	6.157
VL	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	+6%	59.8	9.366
VL	1999	Base	NOx		AR	AR_120	+/-0%	115.9	2.277
VL	1999	Base	NOx		AR	AR_120	-6%	116.0	0.458
VL	1999	Base	NOx		AR	AR_120	-4%	116.0	0.959
VL	1999	Base	NOx		AR	AR_120	-2%	115.9	1.627
VL	1999	Base	NOx		AR	AR_120	+2%	115.9	2.920
VL	1999	Base	NOx		AR	AR_120	+4%	102.8	2.759
VL	1999	Base	NOx		AR	AR_120	+6%	102.8	3.279
VL	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	+/-0%	77.0	0.973
VL	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	-6%	60.9	0.200
VL	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	-4%	60.9	0.360
VL	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	-2%	77.0	0.666
VL	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	+2%	77.0	1.389
VL	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	+4%	59.8	1.734
VL	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	+6%	59.8	2.245
VL	1999	Base	Part		AR	AR_120	+/-0%	115.9	0.132
VL	1999	Base	Part		AR	AR_120	-6%	116.0	0.088
VL	1999	Base	Part		AR	AR_120	-4%	116.0	0.109
VL	1999	Base	Part		AR	AR_120	-2%	115.9	0.099
VL	1999	Base	Part		AR	AR_120	+2%	115.9	0.188
VL	1999	Base	Part		AR	AR_120	+4%	102.8	0.224
VL	1999	Base	Part		AR	AR_120	+6%	102.8	0.348
VL	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	+/-0%	77.0	0.056
VL	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	-6%	60.9	0.047
VL	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	-4%	60.9	0.055
VL	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	-2%	77.0	0.043
VL	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	+2%	77.0	0.077
VL	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	+4%	59.8	0.118
VL	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	+6%	59.8	0.179
VL	1999	Base	CO2		AR	AR_120	+/-0%	115.9	353.321
VL	1999	Base	CO2		AR	AR_120	-6%	116.0	105.829
VL	1999	Base	CO2		AR	AR_120	-4%	116.0	178.735
VL	1999	Base	CO2		AR	AR_120	-2%	115.9	266.627
VL	1999	Base	CO2		AR	AR_120	+2%	115.9	471.286
VL	1999	Base	CO2		AR	AR_120	+4%	102.8	520.684
VL	1999	Base	CO2		AR	AR_120	+6%	102.8	632.174
VL	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	+/-0%	77.0	215.657
VL	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	-6%	60.9	58.930
VL	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	-4%	60.9	97.774
VL	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	-2%	77.0	154.762
VL	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	+2%	77.0	297.532
VL	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	+4%	59.8	359.852
VL	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	+6%	59.8	441.548
VL	1999	Base	SO2		AR	AR_120	+/-0%	115.9	0.074
VL	1999	Base	SO2		AR	AR_120	-6%	116.0	0.021

Catégorie de véhicules	Année	Structure du trafic	Composants	Energie	Catégorie de routes	Conditions de circulation	Décliv.	Vitesse	Coeff.
							%	km/h	g/km
Cas		EmissionsSelonMICET[2.1], Emissions "à chaud" (par catégorie de véhic							
VL	1999	Base	SO2		AR	AR_120	-4%	116.0	0.036
VL	1999	Base	SO2		AR	AR_120	-2%	115.9	0.055
VL	1999	Base	SO2		AR	AR_120	+2%	115.9	0.100
VL	1999	Base	SO2		AR	AR_120	+4%	102.8	0.110
VL	1999	Base	SO2		AR	AR_120	+6%	102.8	0.134
VL	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	+/-0%	77.0	0.044
VL	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	-6%	60.9	0.012
VL	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	-4%	60.9	0.020
VL	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	-2%	77.0	0.032
VL	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	+2%	77.0	0.062
VL	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	+4%	59.8	0.075
VL	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	+6%	59.8	0.092
CAR	1999	Base	HC		AR	AR_120	+/-0%	103.0	0.455
CAR	1999	Base	HC		AR	AR_120	-6%	82.4	0.109
CAR	1999	Base	HC		AR	AR_120	-4%	103.0	0.145
CAR	1999	Base	HC		AR	AR_120	-2%	103.0	0.409
CAR	1999	Base	HC		AR	AR_120	+2%	102.6	0.428
CAR	1999	Base	HC		AR	AR_120	+4%	86.4	0.507
CAR	1999	Base	HC		AR	AR_120	+6%	69.6	0.658
CAR	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	+/-0%	76.7	0.435
CAR	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	-6%	61.4	0.153
CAR	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	-4%	76.7	0.165
CAR	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	-2%	76.7	0.344
CAR	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	+2%	76.6	0.447
CAR	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	+4%	61.4	0.582
CAR	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	+6%	54.8	0.686
CAR	1999	Base	CO		AR	AR_120	+/-0%	103.0	1.050
CAR	1999	Base	CO		AR	AR_120	-6%	82.4	0.163
CAR	1999	Base	CO		AR	AR_120	-4%	103.0	0.255
CAR	1999	Base	CO		AR	AR_120	-2%	103.0	0.946
CAR	1999	Base	CO		AR	AR_120	+2%	102.6	1.411
CAR	1999	Base	CO		AR	AR_120	+4%	86.4	2.166
CAR	1999	Base	CO		AR	AR_120	+6%	69.6	2.564
CAR	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	+/-0%	76.7	1.331
CAR	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	-6%	61.4	0.236
CAR	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	-4%	76.7	0.306
CAR	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	-2%	76.7	0.848
CAR	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	+2%	76.6	1.881
CAR	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	+4%	61.4	2.848
CAR	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	+6%	54.8	3.488
CAR	1999	Base	NOx		AR	AR_120	+/-0%	103.0	9.334
CAR	1999	Base	NOx		AR	AR_120	-6%	82.4	0.234
CAR	1999	Base	NOx		AR	AR_120	-4%	103.0	0.437
CAR	1999	Base	NOx		AR	AR_120	-2%	103.0	3.008
CAR	1999	Base	NOx		AR	AR_120	+2%	102.6	16.528
CAR	1999	Base	NOx		AR	AR_120	+4%	86.4	22.175
CAR	1999	Base	NOx		AR	AR_120	+6%	69.6	28.067
CAR	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	+/-0%	76.7	8.309
CAR	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	-6%	61.4	0.338
CAR	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	-4%	76.7	0.629
CAR	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	-2%	76.7	2.914
CAR	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	+2%	76.6	15.169
CAR	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	+4%	61.4	22.171

Catégorie de véhicules	Année	Structure du trafic	Composants	Energie	Catégorie de routes	Conditions de circulation	Décliv.	Vitesse	Coeff.
							%	km/h	g/km
Cas EmissionsSelonMICET[2.1], Emissions "à chaud" (par catégorie de véhic									
CAR	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	+6%	54.8	28.881
CAR	1999	Base	Part		AR	AR_120	+/-0%	103.0	0.268
CAR	1999	Base	Part		AR	AR_120	-6%	82.4	0.061
CAR	1999	Base	Part		AR	AR_120	-4%	103.0	0.077
CAR	1999	Base	Part		AR	AR_120	-2%	103.0	0.180
CAR	1999	Base	Part		AR	AR_120	+2%	102.6	0.411
CAR	1999	Base	Part		AR	AR_120	+4%	86.4	0.593
CAR	1999	Base	Part		AR	AR_120	+6%	69.6	0.747
CAR	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	+/-0%	76.7	0.278
CAR	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	-6%	61.4	0.044
CAR	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	-4%	76.7	0.063
CAR	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	-2%	76.7	0.143
CAR	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	+2%	76.6	0.433
CAR	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	+4%	61.4	0.677
CAR	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	+6%	54.8	0.837
CAR	1999	Base	CO2		AR	AR_120	+/-0%	103.0	773.638
CAR	1999	Base	CO2		AR	AR_120	-6%	82.4	17.487
CAR	1999	Base	CO2		AR	AR_120	-4%	103.0	35.574
CAR	1999	Base	CO2		AR	AR_120	-2%	103.0	287.404
CAR	1999	Base	CO2		AR	AR_120	+2%	102.6	1310.197
CAR	1999	Base	CO2		AR	AR_120	+4%	86.4	1762.118
CAR	1999	Base	CO2		AR	AR_120	+6%	69.6	2259.020
CAR	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	+/-0%	76.7	656.431
CAR	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	-6%	61.4	27.214
CAR	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	-4%	76.7	51.739
CAR	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	-2%	76.7	247.625
CAR	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	+2%	76.6	1159.544
CAR	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	+4%	61.4	1707.747
CAR	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	+6%	54.8	2251.519
CAR	1999	Base	SO2		AR	AR_120	+/-0%	103.0	0.218
CAR	1999	Base	SO2		AR	AR_120	-6%	82.4	0.005
CAR	1999	Base	SO2		AR	AR_120	-4%	103.0	0.010
CAR	1999	Base	SO2		AR	AR_120	-2%	103.0	0.081
CAR	1999	Base	SO2		AR	AR_120	+2%	102.6	0.369
CAR	1999	Base	SO2		AR	AR_120	+4%	86.4	0.496
CAR	1999	Base	SO2		AR	AR_120	+6%	69.6	0.635
CAR	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	+/-0%	76.7	0.185
CAR	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	-6%	61.4	0.008
CAR	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	-4%	76.7	0.015
CAR	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	-2%	76.7	0.070
CAR	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	+2%	76.6	0.326
CAR	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	+4%	61.4	0.480
CAR	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	+6%	54.8	0.633
LBus	1999	Base	HC		AR	AR_120	+/-0%	0.0	0.000
LBus	1999	Base	HC		AR	AR_120	-6%	0.0	0.000
LBus	1999	Base	HC		AR	AR_120	-4%	0.0	0.000
LBus	1999	Base	HC		AR	AR_120	-2%	0.0	0.000
LBus	1999	Base	HC		AR	AR_120	+2%	0.0	0.000
LBus	1999	Base	HC		AR	AR_120	+4%	0.0	0.000
LBus	1999	Base	HC		AR	AR_120	+6%	0.0	0.000
LBus	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	+/-0%	39.3	1.063
LBus	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	-6%	31.0	0.856
LBus	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	-4%	39.3	0.659

Catégorie de véhicules	Année	Structure du trafic	Composants	Energie	Catégorie de routes	Conditions de circulation	Décliv.	Vitesse	Coeff.
							%	km/h	g/km
Cas		EmissionsSelonMICET[2.1], Emissions "à chaud" (par catégorie de véhic							
LBus	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	+/-0%	39.3	829.120
LBus	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	-6%	31.0	457.039
LBus	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	-4%	39.3	244.507
LBus	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	-2%	39.3	464.863
LBus	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	+2%	39.1	1297.257
LBus	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	+4%	38.1	1843.199
LBus	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	+6%	27.1	2482.662
LBus	1999	Base	SO2		AR	AR_120	+/-0%	0.0	0.000
LBus	1999	Base	SO2		AR	AR_120	-6%	0.0	0.000
LBus	1999	Base	SO2		AR	AR_120	-4%	0.0	0.000
LBus	1999	Base	SO2		AR	AR_120	-2%	0.0	0.000
LBus	1999	Base	SO2		AR	AR_120	+2%	0.0	0.000
LBus	1999	Base	SO2		AR	AR_120	+4%	0.0	0.000
LBus	1999	Base	SO2		AR	AR_120	+6%	0.0	0.000
LBus	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	+/-0%	39.3	0.233
LBus	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	-6%	31.0	0.129
LBus	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	-4%	39.3	0.069
LBus	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	-2%	39.3	0.131
LBus	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	+2%	39.1	0.365
LBus	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	+4%	38.1	0.518
LBus	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	+6%	27.1	0.698
MC	1999	Base	HC		AR	AR_120	+/-0%	115.0	1.468
MC	1999	Base	HC		AR	AR_120	-6%	115.0	1.468
MC	1999	Base	HC		AR	AR_120	-4%	115.0	1.468
MC	1999	Base	HC		AR	AR_120	-2%	115.0	1.468
MC	1999	Base	HC		AR	AR_120	+2%	115.0	1.468
MC	1999	Base	HC		AR	AR_120	+4%	115.0	1.468
MC	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	+/-0%	71.9	2.230
MC	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	-6%	71.9	2.230
MC	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	-4%	71.9	2.230
MC	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	-2%	71.9	2.230
MC	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	+2%	71.9	2.230
MC	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	+4%	71.9	2.230
MC	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	+6%	71.9	2.230
MC	1999	Base	CO		AR	AR_120	+/-0%	115.0	15.130
MC	1999	Base	CO		AR	AR_120	-6%	115.0	15.130
MC	1999	Base	CO		AR	AR_120	-4%	115.0	15.130
MC	1999	Base	CO		AR	AR_120	-2%	115.0	15.130
MC	1999	Base	CO		AR	AR_120	+2%	115.0	15.130
MC	1999	Base	CO		AR	AR_120	+4%	115.0	15.130
MC	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	+/-0%	71.9	11.793
MC	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	-6%	71.9	11.793
MC	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	-4%	71.9	11.793
MC	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	-2%	71.9	11.793
MC	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	+2%	71.9	11.793
MC	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	+4%	71.9	11.793
MC	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	+6%	71.9	11.793
MC	1999	Base	NOx		AR	AR_120	+/-0%	115.0	0.633
MC	1999	Base	NOx		AR	AR_120	-6%	115.0	0.633
MC	1999	Base	NOx		AR	AR_120	-4%	115.0	0.633
MC	1999	Base	NOx		AR	AR_120	-2%	115.0	0.633

Catégorie de véhicules	Année	Structure du trafic	Composants	Energie	Catégorie de routes	Conditions de circulation	Décliv.	Vitesse	Coeff.
							%	km/h	g/km
Cas		EmissionsSelonMICET[2.1], Emissions "à chaud" (par catégorie de véhic							
MC	1999	Base	NOx		AR	AR_120	+2%	115.0	0.633
MC	1999	Base	NOx		AR	AR_120	+4%	115.0	0.633
MC	1999	Base	NOx		AR	AR_120	+6%	115.0	0.633
MC	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	+/-0%	71.9	0.344
MC	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	-6%	71.9	0.344
MC	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	-4%	71.9	0.344
MC	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	-2%	71.9	0.344
MC	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	+2%	71.9	0.344
MC	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	+4%	71.9	0.344
MC	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	+6%	71.9	0.344
MC	1999	Base	Part		AR	AR_120	+/-0%	115.0	0.000
MC	1999	Base	Part		AR	AR_120	-6%	115.0	0.000
MC	1999	Base	Part		AR	AR_120	-4%	115.0	0.000
MC	1999	Base	Part		AR	AR_120	-2%	115.0	0.000
MC	1999	Base	Part		AR	AR_120	+2%	115.0	0.000
MC	1999	Base	Part		AR	AR_120	+4%	115.0	0.000
MC	1999	Base	Part		AR	AR_120	+6%	115.0	0.000
MC	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	+/-0%	71.9	0.000
MC	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	-6%	71.9	0.000
MC	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	-4%	71.9	0.000
MC	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	-2%	71.9	0.000
MC	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	+2%	71.9	0.000
MC	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	+4%	71.9	0.000
MC	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	+6%	71.9	0.000
MC	1999	Base	CO2		AR	AR_120	+/-0%	115.0	117.332
MC	1999	Base	CO2		AR	AR_120	-6%	115.0	117.332
MC	1999	Base	CO2		AR	AR_120	-4%	115.0	117.332
MC	1999	Base	CO2		AR	AR_120	-2%	115.0	117.332
MC	1999	Base	CO2		AR	AR_120	+2%	115.0	117.332
MC	1999	Base	CO2		AR	AR_120	+4%	115.0	117.332
MC	1999	Base	CO2		AR	AR_120	+6%	115.0	117.332
MC	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	+/-0%	71.9	95.823
MC	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	-6%	71.9	95.823
MC	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	-4%	71.9	95.823
MC	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	-2%	71.9	95.823
MC	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	+2%	71.9	95.823
MC	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	+4%	71.9	95.823
MC	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	+6%	71.9	95.823
MC	1999	Base	SO2		AR	AR_120	+/-0%	115.0	0.015
MC	1999	Base	SO2		AR	AR_120	-6%	115.0	0.015
MC	1999	Base	SO2		AR	AR_120	-4%	115.0	0.015
MC	1999	Base	SO2		AR	AR_120	-2%	115.0	0.015
MC	1999	Base	SO2		AR	AR_120	+2%	115.0	0.015
MC	1999	Base	SO2		AR	AR_120	+4%	115.0	0.015
MC	1999	Base	SO2		AR	AR_120	+6%	115.0	0.015
MC	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	+/-0%	71.9	0.012
MC	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	-6%	71.9	0.012
MC	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	-4%	71.9	0.012
MC	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	-2%	71.9	0.012
MC	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	+2%	71.9	0.012
MC	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	+4%	71.9	0.012
MC	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	+6%	71.9	0.012
PLM	1999	Base	HC		AR	AR_120	+/-0%	86.2	0.476

Catégorie de véhicules	Année	Structure du trafic	Composants	Energie	Catégorie de routes	Conditions de circulation	Décliv.	Vitesse	Coeff.
							%	km/h	g/km
Cas		EmissionsSelonMICET[2.1], Emissions "à chaud" (par catégorie de véhic							
PLM	1999	Base	HC		AR	AR_120	-6%	51.1	0.222
PLM	1999	Base	HC		AR	AR_120	-4%	57.6	0.227
PLM	1999	Base	HC		AR	AR_120	-2%	86.2	0.323
PLM	1999	Base	HC		AR	AR_120	+2%	86.2	0.442
PLM	1999	Base	HC		AR	AR_120	+4%	60.1	0.613
PLM	1999	Base	HC		AR	AR_120	+6%	38.4	0.952
PLM	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	+/-0%	72.7	0.481
PLM	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	-6%	58.1	0.177
PLM	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	-4%	72.7	0.156
PLM	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	-2%	72.7	0.323
PLM	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	+2%	72.6	0.490
PLM	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	+4%	63.2	0.646
PLM	1999	Base	HC		EX	EX_RP1	+6%	57.2	0.792
PLM	1999	Base	CO		AR	AR_120	+/-0%	86.2	1.205
PLM	1999	Base	CO		AR	AR_120	-6%	51.1	0.387
PLM	1999	Base	CO		AR	AR_120	-4%	57.6	0.468
PLM	1999	Base	CO		AR	AR_120	-2%	86.2	0.644
PLM	1999	Base	CO		AR	AR_120	+2%	86.2	1.842
PLM	1999	Base	CO		AR	AR_120	+4%	60.1	3.116
PLM	1999	Base	CO		AR	AR_120	+6%	38.4	4.414
PLM	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	+/-0%	72.7	1.455
PLM	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	-6%	58.1	0.272
PLM	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	-4%	72.7	0.265
PLM	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	-2%	72.7	0.755
PLM	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	+2%	72.6	2.200
PLM	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	+4%	63.2	3.085
PLM	1999	Base	CO		EX	EX_RP1	+6%	57.2	3.757
PLM	1999	Base	NOx		AR	AR_120	+/-0%	86.2	7.919
PLM	1999	Base	NOx		AR	AR_120	-6%	51.1	0.584
PLM	1999	Base	NOx		AR	AR_120	-4%	57.6	0.995
PLM	1999	Base	NOx		AR	AR_120	-2%	86.2	1.514
PLM	1999	Base	NOx		AR	AR_120	+2%	86.2	15.693
PLM	1999	Base	NOx		AR	AR_120	+4%	60.1	22.082
PLM	1999	Base	NOx		AR	AR_120	+6%	38.4	30.001
PLM	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	+/-0%	72.7	7.716
PLM	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	-6%	58.1	0.413
PLM	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	-4%	72.7	0.503
PLM	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	-2%	72.7	2.203
PLM	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	+2%	72.6	14.736
PLM	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	+4%	63.2	21.727
PLM	1999	Base	NOx		EX	EX_RP1	+6%	57.2	28.327
PLM	1999	Base	Part		AR	AR_120	+/-0%	86.2	0.218
PLM	1999	Base	Part		AR	AR_120	-6%	51.1	0.035
PLM	1999	Base	Part		AR	AR_120	-4%	57.6	0.063
PLM	1999	Base	Part		AR	AR_120	-2%	86.2	0.109
PLM	1999	Base	Part		AR	AR_120	+2%	86.2	0.354
PLM	1999	Base	Part		AR	AR_120	+4%	60.1	0.571
PLM	1999	Base	Part		AR	AR_120	+6%	38.4	0.820
PLM	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	+/-0%	72.7	0.241
PLM	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	-6%	58.1	0.047
PLM	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	-4%	72.7	0.047
PLM	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	-2%	72.7	0.109
PLM	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	+2%	72.6	0.393

Catégorie de véhicules	Année	Structure du trafic	Composants	Energie	Catégorie de routes	Conditions de circulation	Décliv.	Vitesse	Coeff.
							%	km/h	g/km
Cas		EmissionsSelonMICET[2.1], Emissions "à chaud" (par catégorie de véhic							
PLM	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	+4%	63.2	0.581
PLM	1999	Base	Part		EX	EX_RP1	+6%	57.2	0.757
PLM	1999	Base	CO2		AR	AR_120	+/-0%	86.2	630.122
PLM	1999	Base	CO2		AR	AR_120	-6%	51.1	48.702
PLM	1999	Base	CO2		AR	AR_120	-4%	57.6	80.238
PLM	1999	Base	CO2		AR	AR_120	-2%	86.2	123.421
PLM	1999	Base	CO2		AR	AR_120	+2%	86.2	1219.791
PLM	1999	Base	CO2		AR	AR_120	+4%	60.1	1718.417
PLM	1999	Base	CO2		AR	AR_120	+6%	38.4	2337.295
PLM	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	+/-0%	72.7	588.691
PLM	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	-6%	58.1	31.567
PLM	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	-4%	72.7	40.022
PLM	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	-2%	72.7	173.204
PLM	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	+2%	72.6	1121.124
PLM	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	+4%	63.2	1714.062
PLM	1999	Base	CO2		EX	EX_RP1	+6%	57.2	2312.347
PLM	1999	Base	SO2		AR	AR_120	+/-0%	86.2	0.177
PLM	1999	Base	SO2		AR	AR_120	-6%	51.1	0.014
PLM	1999	Base	SO2		AR	AR_120	-4%	57.6	0.023
PLM	1999	Base	SO2		AR	AR_120	-2%	86.2	0.035
PLM	1999	Base	SO2		AR	AR_120	+2%	86.2	0.343
PLM	1999	Base	SO2		AR	AR_120	+4%	60.1	0.483
PLM	1999	Base	SO2		AR	AR_120	+6%	38.4	0.657
PLM	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	+/-0%	72.7	0.166
PLM	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	-6%	58.1	0.009
PLM	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	-4%	72.7	0.011
PLM	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	-2%	72.7	0.049
PLM	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	+2%	72.6	0.315
PLM	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	+4%	63.2	0.482
PLM	1999	Base	SO2		EX	EX_RP1	+6%	57.2	0.650

Annexe 19 : Traitement des données ferroviaires dans le modèle

Traitement des données ferroviaires dans le modèle - calcul des émissions sonores (et coefficient K)

Exportation de la couche relative au trafic ferroviaire (« TraficFerroviaireAlpesAutreOk ») de la base de données BD_ALPSIG_Rail vers la base de données BD_ALPSIG_Rail2 (afin de conserver les résultats obtenus jusqu'ici et d'éviter les risques d'erreur).

Les données relatives au trafic ferroviaire (transalpin, « autre » et total) sont importées dans la base de données BD_ALPSIG_Rail2 (« TraficFerroviaireAlpesAutreOk »). Une copie de ces données « originelles » est sauvegardée dans la même base de données (« TraficFerroviaireAlpesAutreOk_Origine »).

A chaque scénario est associée une nouvelle couche TraficFerroviaireAlpesAutreOk. Les modèles qui suivent (ModelALPSIG_Rail et ModelALPSIG_Rail_Suite) sont ainsi appliqués pour chaque scénario.

Cf. ModelALPSIG_Rail

Ce modèle permet de calculer les émissions sonores du trafic ferroviaire « autre » et total ainsi que d'attribuer un coefficient K dans l'objectif de calculer les immissions sonores.

« Re-calculation » des données du trafic transalpin et du trafic total après avoir modifié³⁵ les tonnes nettes du trafic transalpin :

- Re-calculation des données concernant le trafic transalpin à partir des tonnes nettes ainsi que du trafic total³⁶ (1-8) :

$$A_ToBrut99 = ([A_ToNet99]/0.3) * 0.7$$

$$A_NbTms99 = [A_ToBrut99]/980$$

$$A_ToBrutJ99 = [A_ToBrut99] * ([PropTmsJAn]/100)$$

$$A_ToBrutN99 = [A_ToBrut99] * ([PropTmsNAn]/100)$$

$$A_NbTmsJ99 = [A_NbTms99] * ([PropTmsJAn]/100)$$

$$A_NbTmsN99 = [A_NbTms99] * ([PropTmsNAn]/100)$$

$$TNbTmsJAn = [A_NbTmsJ99] + [ENbTmsJAn]$$

$$TNbTmsNAn = [A_NbTmsN99] + [ENbTmsNAn]$$
- Ajout et calcul des champs suivants qui sont nécessaires au calcul des émissions (trafic horaire / H = heure) – (9-16) :

$$TNbTmsJh = [TNbTmsJAn]/264/16$$

$$TNbTmsNh = [TNbTmsNAn]/264/8$$

$$NbTvoyJh = [NbTvoyJAn]/264/16$$

$$NbTvoyNh = [NbTvoyNAn]/264/8$$

Fusion des tronçons (2 sens) en un seul tronçon :

- Fusion (« Dissolve ») des données relatives aux tronçons sur la base de la longueur des tronçons (champ : « shape length » afin de n'avoir plus qu'un enregistrement ainsi une valeur unique (SUM³⁷ ou MEAN³⁸) qui va servir pour calculer les émissions (17).
On obtient : TraficFerroviaireAlpesAutreOk_Diss sous
C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\BD_ALPSIG_Rail2.mdb\Rail

Calcul de la proportion de trafic transalpin par rapport au trafic total :

- Calcul de la proportion de trafic transalpin par rapport au trafic total (18-25): Ajout des deux champs suivants, calcul la valeur (= 0), sélection (« Make feature layer ») des enregistrements pour lesquels la proportion est calculée (« Calculate field »).
Make feature layer: [SUM_TNbTmsJAn] > 0

$$PropAlpinJ = ([SUM_A_NbTmsJ99]*100)/[SUM_TNbTmsJAn]$$
Make feature layer: [SUM_TNbTmsNAn] > 0

$$PropAlpinN = ([SUM_A_NbTmsN99]*100)/[SUM_TNbTmsNAn]$$

Calcul des émissions sonores [dB(A)] du trafic total et du trafic « autre » (jour/nuit) :

- Pour le calcul des émissions sonores un certain nombre d'hypothèses sont émises:
Trafic voyageurs :
Les trains voyageurs pris en compte ont une longueur de 250 mètres en moyenne ((100+400)/2), circulent en moyenne à 130 km/h ((100+160)/2)) et sont équipés de freins à disque (la majorité).
Ajout et calcul des champs suivants (la valeur de ces champs peut être modifiée par la suite) – (26-33):

$$(V_{eff}) Vvoy = 95$$

$$(A) Avoy = -28$$

$$(B) Bvoy = 35$$

$$(L) Lvoy = 250$$
Trafic marchandises :
Les trains marchandises pris en compte ont une longueur de 700 mètres en moyenne (accès terminaux / GUGLIELMINETTI 2001), circulent en moyenne à 80 km/h (limite au niveau du Gothard) et sont équipés de freins en fonte (la majorité).
Ajout et calcul des champs suivants – (34-41):

³⁵ Ce re-calculation est réalisé dans tous les cas mais est vraiment nécessaire uniquement dans le cas de données résultant d'un scénario de transfert modal et/ou spatial.

³⁶ Le script (script 2) permettant de simuler un transfert modal et/ou spatial du trafic transalpin modifie les tonnages nets (hypothèses quant au tonnage net d'un train et d'un camion).

³⁷ Pour les valeurs relatives au trafic

³⁸ Pour les valeurs relatives aux proportions de trains circulant le jour ou la nuit

(V_{eff}) Vms = 80
 (A) Ams = 22
 (B) Bms = 15
 (L) Lms = 700

Calcul des émissions sonores du trafic total (transalpin + « autre ») :

- Calcul des émissions par catégorie de train - Leq_z :
 Ajout et calcul (= 0) des champs suivants – (42-49):
 AALeqTmsJ = 0
 AALeqTmsN = 0
 AALeqTvoyJ = 0
 AALeqTvoyN = 0
 Lorsque la valeur du trafic horaire est > 0 (TNbTmsJh, TNbTmsNh, NbTvoyJh, NbTvoyNh), le Leq est calculé – (50-57):
Leq_z = E_x + 10 log (M) ou E_w + 10 log (M)
M = nombre de train par heure de la catégorie z
 AALeqTmsJ =

$$10^{*} \text{Log} (10^{(0.1 * ([Ams] + [Bms] * (\text{Log} ([Vms]) / \text{Log} (10)) + 10^{*} (\text{Log} ([Lms]) / \text{Log} (10)))))) / \text{Log} (10) + (10^{*} \text{Log} ([\text{SUM_NbTmsJh}] / \text{Log} (10)))$$

 AALeqTmsN =

$$10^{*} \text{Log} (10^{(0.1 * ([Ams] + [Bms] * (\text{Log} ([Vms]) / \text{Log} (10)) + 10^{*} (\text{Log} ([Lms]) / \text{Log} (10)))))) / \text{Log} (10) + (10^{*} \text{Log} ([\text{SUM_TNbTmsNh}] / \text{Log} (10)))$$

 AALeqTvoyJ =

$$10^{*} \text{Log} (10^{(0.1 * ([Avoy] + [Bvoy] * (\text{Log} ([Vvoy]) / \text{Log} (10)) + 10^{*} (\text{Log} ([Lvoy]) / \text{Log} (10)))))) / \text{Log} (10) + (10^{*} \text{Log} ([\text{SUM_NbTvoyJh}] / \text{Log} (10)))$$

 AALeqTvoyN =

$$10^{*} \text{Log} (10^{(0.1 * ([Avoy] + [Bvoy] * (\text{Log} ([Vvoy]) / \text{Log} (10)) + 10^{*} (\text{Log} ([Lvoy]) / \text{Log} (10)))))) / \text{Log} (10) + (10^{*} \text{Log} ([\text{SUM_NbTvoyNh}] / \text{Log} (10)))$$

 Attention : Dans ArcGIS le calcul du logarithme de base n d'un nombre x, est calculé en divisant le logarithme népérien de x par celui de n selon la formule suivante: Log_n(x) = Log(x)/Log(n). Ainsi, 10*log(700) = 10*Log (700) / Log (10).
 • Calcul du niveau d'émission global du trafic total (diurne et nocturne) par l'addition énergétique des niveaux partiels de chaque catégorie de train (trains voyageurs, trains marchandises) - Leq_z - (58-61):
Leq_{tz} = 10 log (Σ 10^{0.1 Leq_z})
 Ajout et calcul des champs suivants :
 AALeqJ = 10* Log (10^(0.1* [AALeqTmsJ]) + 10^(0.1* [AALeqTvoyJ])) / Log (10)
 AALeqN = 10* Log (10^(0.1* [AALeqTmsN]) + 10^(0.1* [AALeqTvoyN])) / Log (10)

Calcul des émissions sonore du trafic « autre » :

- Calcul des émissions par catégorie de train - Leq_z :
 Ajout et calcul (= 0) des champs suivants – (62-65):
 aLeqTmsJ = 0
 aLeqTmsN = 0
 Lorsque la valeur du trafic horaire est > 0 (([SUM_ENbTmsJAn]/264/16) > 0 ; ([SUM_ENbTmsNAn]/264/8) > 0) le Leq est calculé – (66-69):
 aLeqTmsJ =

$$10^{*} \text{Log} (10^{(0.1 * ([Ams] + [Bms] * (\text{Log} ([Vms]) / \text{Log} (10)) + 10^{*} (\text{Log} ([Lms]) / \text{Log} (10)))))) / \text{Log} (10) + (10^{*} \text{Log} ([\text{SUM_ENbTmsJAn}] / 264 / 16 / \text{Log} (10)))$$

 aLeqTmsN =

$$10^{*} \text{Log} (10^{(0.1 * ([Ams] + [Bms] * (\text{Log} ([Vms]) / \text{Log} (10)) + 10^{*} (\text{Log} ([Lms]) / \text{Log} (10)))))) / \text{Log} (10) + (10^{*} \text{Log} ([\text{SUM_ENbTmsNAn}] / 264 / 8 / \text{Log} (10)))$$

 Les valeurs aLeqTvoyJ et aLeqTvoyN n'ont pas besoin d'être calculées étant donné que l'ensemble du trafic voyageur est compris dans le trafic « autre » et qu'il correspond aux valeurs de AALeqTvoyJ et AALeqTvoyN.
 • Calcul du niveau d'émission global du trafic « autre » (diurne et nocturne) par l'addition énergétique des niveaux partiels de chaque catégorie de train (trains voyageurs, trains marchandises) - Leq_z - (70-73):
Leq_{tz} = 10 log (Σ 10^{0.1 Leq_z})
 Ajout et calcul des champs suivants:
 aLeqJ = 10* Log(10^(0.1* [aLeqTmsJ]) + 10^(0.1* [AALeqTvoyJ])) / Log (10)
 aLeqN = 10* Log(10^(0.1* [aLeqTmsN]) + 10^(0.1* [AALeqTvoyN])) / Log (10)

Calcul du coefficient de correction K :

Calcul de la valeur du coefficient de correction K en vue du calcul du niveau d'évaluation [Lr] pour le trafic total et pour le trafic « autre » (jour/nuît) :

- Ajout et calcul (= 0) des champs suivants : aKJ, aKN, AAKJ et AAKN (74-81)
- Calcul du coefficient K pour le trafic « autre » (82-87 et plus)
 Exemple de calcul (« Make feature layer » ; « Calculate field »):
 Si ([SUM_ENbTmsJAn] + [SUM_NbTvoyJAn])/264 > 79
 Alors aKJ = -5
 Si ([SUM_ENbTmsJAn] + [SUM_NbTvoyJAn])/264 >= 7.9 AND ([SUM_ENbTmsJAn] + [SUM_NbTvoyJAn])/264 <= 79
 Alors aKJ = 10* Log (([SUM_ENbTmsJAn] + [SUM_NbTvoyJAn])/264/250) / Log (10)
 Si ([SUM_ENbTmsJAn] + [SUM_NbTvoyJAn])/264 < 7.9
 Alors aKJ = -15
- Calcul du coefficient K pour le trafic total : (88-93 et plus)

Résultats : TraficFerroviaire.AlpesAutreOk_Diss sous BD_ALPSIG_Rail2

Traitement des données ferroviaires dans le modèle - Prise en compte des tunnels et données ponctuelles

Ces traitements peuvent être mis à la fin du modèle ModelALPSIG_Rail.

Toutefois, un nouveau modèle est créé (ModelALPSIG_Rail_Suite) et ceci pour plusieurs raisons : vitesse d'exécution des outils, vitesse d'exécution du modèle, risque d'erreur moins important.

Cf. ModelALPSIG_Rail_Suite

La couche issue du modèle précédant (« TraficFerroviaireAlpesAutreOk_Diss ») est exportée vers la base de données BD_ALPSIG_Rail3
C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\BD_ALPSIG_Rail3.mdb\Rail

Compact geodatabase³⁹ (1) :

La base de données BD_ALPSIG_Rail3 est compactée (« compact »)

« *Compacting rearranges how the database is stored on disk, often reducing its size and improving performance.* »

Exportation des données vers la base de données BD_ALPSIG_Rail3 (2):

La couche TraficFerroviaireAlpesAutreOk_Diss (BD_ALPSIG_Rail2) est exportée dans la base de données BD_ALPSIG_Rail3

On obtient : TraficFerroviaire

Delete fields (3) :

Suppression des champs devenus inutiles.

Compact geodatabase (4):

La base de données BD_ALPSIG_Rail3 est compactée (« compact »).

Prise en compte des tunnels ferroviaires du Lötschberg et du Gothard:

L'hypothèse selon laquelle les émissions sonores au niveau des tunnels sont nulles est admise.

Dans la même base de données, les données ferroviaires sur lesquelles on va travailler sont copiées (5) :

La couche TraficFerroviaire est copiée

On obtient : TraficFerroviaireOk sous:

C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\BD_ALPSIG_Rail3.mdb\Rail

Création de « layers » (6-7):

Création d'une layer (« Make feature layer ») pour le trafic ferroviaire ainsi qu'une layer pour les tunnels (TunnelsRail sous C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\BD_ALPSIG_General.mdb\DonneesGenerales) afin de pouvoir sélectionner les tronçons (« Select layer by location ») en fonction de la localisation des tunnels.

Intersect (8):

Sélection des tronçons ferroviaires qui se trouvent au niveau de tunnels: « intersect » « *The features in the input layer will be selected if it intersects a select feature. This is the default* »

« search distance » de 1 mètre: « *When the selection is performed, the buffer around each input feature is used instead of the feature itself* ».

Annulation des émissions (9 et plus):

Les émissions au niveau de ces tronçons étant émises dans un tunnel sont nulles.

« Calculate field » = 0

Transformation des données linéaires en données ponctuelles :

Transformation des données linéaires en données « raster » (10-17) :

Utilisation de l'outil « Feature to raster ».

Résolution de 25 mètres (pixels de 25x25 m)

On obtient :

rail_aaleqj
rail_aakj
rail_aaleqn
rail_aakn
rail_aaleqj
rail_akj
rail_aaleqn
rail_akn

Reclassement d'une couche de données « raster » (18) :

Pour transformer des données « raster » en données ponctuelles, il est nécessaire que les données « raster » soient des Integer et non des floating points. De ce fait, il est nécessaire de créer une couche de points à partir d'une couche « raster » (en l'occurrence la couche représentant les émissions AALeqJ), les points ayant tous la même valeur (0).

Utilisation de l'outil « Reclassify » : la valeur 0 est mise dans la colonne « New value » excepté pour la ligne « No data » ; le choix figurant en bas n'est pas coché.

On obtient : Rail_Recl0

Transformation des données « raster » « re-classifiées » en données ponctuelles (19) :

³⁹ Base de données

Utilisation de l'outil « Raster to point »

On obtient : rail_points

Récupération, pour chaque point, des données d'émission à partir du « raster » d'origine (20) :

Cela est fait pour la première couche prise en compte (en l'occurrence la couche représentant les émissions AALeqJ).

Utilisation de l'outil « Extract value to points » (les deux options ne sont pas cochées).

On obtient : Rail_Bruit_1

Ajout des coordonnées x et y aux points obtenus précédemment (21) :

Utilisation de l'outil « Add XY coordinates » (durée du traitement : environ 2h30)

Ajout et calcul d'un nouveau champ et suppression du champ issu de la récupération des données « raster » (22-24) :

Ajout d'un nouveau champ AALeqJ (« Add field » - 21), que l'on calcule AALeqJ = [RASTERVALU] (« Calculate field » - 22).

Suppression du champ d'origine [RASTERVALU] (« Delete field » - 23)

Boucle afin de récupérer les autres données d'émission pour les mêmes points ; afin d'ajouter et de calculer un nouveau champ (25-52):

« Extract value to points »: (25-31)

« Add field »: (32-38)

« Calculate field »: (39-45)

« Delete field »: (46-52)

On obtient:

Rail_Bruit_2

Rail_Bruit_3

Rail_Bruit_4

Rail_Bruit_5

Rail_Bruit_6

Rail_Bruit_7

Rail_Bruit_8

Exportation des résultats obtenus dans BD_ALPSIG_Rail4 (53) :

Utilisation de l'outil « Feature class to feature class »

On obtient: Rail_Bruit_8

Exportation des données (« TraficFerroviaireOk ») de la base de données BD_ALPSIG_Rail3 vers l'espace de travail ALPSIG_ws afin d'avoir une couche en format shapefile (54) :

On obtient : TraficFerroviaireOk.shp

STOP Modèle – hors modèle :

Accrochage des points au réseau et création d'un fichier texte (.txt) pour une utilisation dans Matlab :

Accrochage des points au réseau (durée : environ 8h), ajout des nouvelles coordonnées et du champ FID_1:

Dans ArcMap :

- Importation de : Rail_Bruit_8.shp (de ALPSIG_ws)
TraficFerroviaireOk.shp (de ALPSIG_ws)
- Accrochage des données ponctuelles (Rail_Bruit_8) au réseau (TraficFerroviaireOk) à l'aide du script « Accrocher des points à des lignes » (buffer/zone tampon de 25 mètres). Création d'une nouvelle entité afin d'avoir une couche en format shapefile : Rail_Bruit_Ok.shp (sous ALPSIG_ws).
- Un ensemble de points localisés précisément sur le réseau est ainsi obtenu.
- Exportation de la couche Rail_Bruit_Ok.shp sous la base de données BD_ALPSIG_Rail4
- Suppression des champs Point_X et Points_Y (« Delete field ») car ces coordonnées ont changées suite à l'accrochage des points
- Ajout des coordonnées x y (« Add XY Coordinates ») correspondantes aux points accrochés au réseau : ajout des colonnes POINT_X et POINT_Y (« Add field »).
- Depuis la couche Rail_Bruit_Ok (BD_ALPSIG_Rail4) une jointure spatiale (spatial join) est faite avec la couche TraficFerroviaireOk.shp (sous ALPSIG_ws) avec l'option « each point will be given all the attributes... ». On obtient Rail_Bruit_OkOk sous BD_ALPSIG_Rail4.
- Suppression de tous les champs qui ont été ajoutés lors de la jointure spatiale soit les champs se terminant par _1. Le champ qui nous intéresse soit l'identifiant des différents tronçons (FID_1) est conservé.

Tri croissant des enregistrements en fonction de l'identifiant des tronçons (FID_1), des coordonnées x et y:

Il est nécessaire de trier les enregistrements afin que l'ensemble des points se suivant dans l'espace se suivent dans la table et soient ainsi extrapolés.

Dans Access :

- Ouverture de la base de données BD_ALPSIG_Rail4 depuis Access
- Création d'une requête à partir de la table Rail_Bruit_OkOk : tri croissant selon les FID et les x.
- On obtient la requête : Rail_Bruit_OkOkOk1
- Création d'une requête à partir de la table Rail_Bruit_OkOk : tri croissant selon les FID et les y.
- On obtient la requête : Rail_Bruit_OkOkOk2

Création d'un fichier .txt :

Depuis Access, exportation des requêtes de points (Rail_Bruit_OkOkOk1 et 2) vers un fichier texte (.txt):

Lors de l'exportation des données ponctuelles depuis Access vers un fichier .txt :

- choisir « longueur fixe – les champs sont alignés en colonnes, des espaces séparant chaque champs »
- On obtient :

Rail_Bruit_ScBase_1.txt

Rail_Bruit_ScBase_2.txt

Rail_Bruit_Sc1_1.txt

Rail_Bruit_Sc1_2.txt

Sous C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\Matlab\DonneesTxt_ScenarioDeBase ou \DonneesTxt_Scenario1

Il faut vérifier que les noms des champs ne figurent pas dans le fichier texte (.txt)

Sinon, il est nécessaire de les supprimer.

Annexe 20 : Traitement des données routières dans le modèle

Calcul des émissions atmosphériques du trafic routier « autre »

Exportation de la couche TraficRoutierAutreOk de
 C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\BD_ALPSIG_RouteDonneesBase.mdb\Routes
 C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\BD_ALPSIG_Route.mdb\Routes vers

Cf. modèle « CalculEmissionsRoutesAutre »**Ajout des conditions de circulation :**

Ajout des champs : V_PLM, V_VT, V_VL, V_CAR, V_MC (1-5)

Calcul des émissions atmosphériques par catégorie de véhicule et par km :**Calcul des émissions par km de tronçon du trafic routier « autre » :**

Ajout des champs suivants:

Emissions diurnes (6-35) :

- EJkmHC_PLM, EJkmHC_VT, EJkmHC_VL, EJkmHC_CAR, EJkmHC_MC
- EJkmCO_PLM, EJkmCO_VT, EJkmCO_VL, EJkmCO_CAR, EJkmCO_MC
- EJkmNOx_PLM, EJkmNOx_VT, EJkmNOx_VL, EJkmNOx_CAR, EJkmNOx_MC
- EJkmPM_PLM, EJkmPM_VT, EJkmPM_VL, EJkmPM_CAR, EJkmPM_MC
- EJkmCO2_PLM, EJkmCO2_VT, EJkmCO2_VL, EJkmCO2_CAR, EJkmCO2_MC
- EJkmSO2_PLM, EJkmSO2_VT, EJkmSO2_VL, EJkmSO2_CAR, EJkmSO2_MC

Emissions nocturnes (36-65) :

- ENkmHC_PLM, ENkmHC_VT, ENkmHC_VL, ENkmHC_CAR, ENkmHC_MC
- ENkmCO_PLM, ENkmCO_VT, ENkmCO_VL, ENkmCO_CAR, ENkmCO_MC
- ENkmNOx_PLM, ENkmNOx_VT, ENkmNOx_VL, ENkmNOx_CAR, ENkmNOx_MC
- ENkmPM_PLM, ENkmPM_VT, ENkmPM_VL, ENkmPM_CAR, ENkmPM_MC
- ENkmCO2_PLM, ENkmCO2_VT, ENkmCO2_VL, ENkmCO2_CAR, ENkmCO2_MC
- ENkmSO2_PLM, ENkmSO2_VT, ENkmSO2_VL, ENkmSO2_CAR, ENkmSO2_MC

Calcul des vitesses des différentes catégories de véhicule:

En fonction de la catégorie de route et des véhicules, une valeur est mise dans ces champs (66-77) - valeurs moyennes qui proviennent du logiciel MICET.

Sélection des tronçons en fonction de la catégorie de route et de la déclivité des tronçons (78-85 et plus).

```
[FRC]=0 AND [ClasPenteOD]=0
[FRC]=0 AND ([ClasPenteOD]=2 OR [ClasPenteOD]=-2)
[FRC]=0 AND ([ClasPenteOD]=4 OR [ClasPenteOD]=-4)
[FRC]=0 AND ([ClasPenteOD]=6 OR [ClasPenteOD]=-6)
[FRC]>=1 AND [ClasPenteOD]=0
[[FRC]>=1 AND ([ClasPenteOD]=2 OR [ClasPenteOD]=-2)
[FRC]>=1 AND ([ClasPenteOD]=4 OR [ClasPenteOD]=-4)
[FRC]>=1 AND ([ClasPenteOD]=6 OR [ClasPenteOD]=-6)
```

Calcul des émissions par km (nombre de véhicule par km) pour chaque catégorie de véhicule et pour les deux sens (1/2 trafic avec une déclivité x et 1/2 trafic avec une déclivité -x). Il est admis que le trafic sur un km de tronçon est équivalent au trafic présent sur l'ensemble tronçon quelque soit la taille du tronçon (78-85 et plus):

Ex: Si la déclivité = 0 :

EJkmHC_PLM = [LWLS_0622] * 0.476

EJkmHC_VT = [PW_0622] * 0.118

Etc.

Si la déclivité est différente de 0 :

EJkmHC_PLM = (([LWLS_0622]/2)*0.323)+(([LWLS_0622]/2) 0.442)

Etc.

Calcul des émissions atmosphériques pour l'ensemble des catégories de véhicule :

Ajout des champs suivants et calcul des émissions totales (ensemble des catégories de véhicules) des différents polluants par km (ligne dès 86-jour):

Emissions diurnes :

```
EkmHC_JTot = [EJkmHC_CAR]+[EJkmHC_MC]+[EJkmHC_PLM]+[EJkmHC_VL]+[EJkmHC_VT]
EkmCO_JTot = [EJkmCO_CAR]+[EJkmCO_MC]+[EJkmCO_PLM]+[EJkmCO_VL]+[EJkmCO_VT]
EkmNOx_JTot = [EJkmNOx_CAR]+[EJkmNOx_MC]+[EJkmNOx_PLM]+[EJkmNOx_VL]+[EJkmNOx_VT]
EkmPM_JTot = [EJkmPM_CAR]+[EJkmPM_MC]+[EJkmPM_PLM]+[EJkmPM_VL]+[EJkmPM_VT]
EkmCO2_JTot = [EJkmCO2_CAR]+[EJkmCO2_MC]+[EJkmCO2_PLM]+[EJkmCO2_VL]+[EJkmCO2_VT]
EkmSO2_JTot = [EJkmSO2_CAR]+[EJkmSO2_MC]+[EJkmSO2_PLM]+[EJkmSO2_VL]+[EJkmSO2_VT]
```

Emissions nocturnes :

```
EkmHC_NTot = [ENkmHC_CAR]+[ENkmHC_MC]+[ENkmHC_PLM]+[ENkmHC_VL]+[ENkmHC_VT]
EkmCO_NTot = [ENkmCO_CAR]+[ENkmCO_MC]+[ENkmCO_PLM]+[ENkmCO_VL]+[ENkmCO_VT]
EkmNOx_NTot = [ENkmNOx_CAR]+[ENkmNOx_MC]+[ENkmNOx_PLM]+[ENkmNOx_VL]+[ENkmNOx_VT]
EkmPM_NTot = [ENkmPM_CAR]+[ENkmPM_MC]+[ENkmPM_PLM]+[ENkmPM_VL]+[ENkmPM_VT]
EkmCO2_NTot = [ENkmCO2_CAR]+[ENkmCO2_MC]+[ENkmCO2_PLM]+[ENkmCO2_VL]+[ENkmCO2_VT]
EkmSO2_NTot = [ENkmSO2_CAR]+[ENkmSO2_MC]+[ENkmSO2_PLM]+[ENkmSO2_VL]+[ENkmSO2_VT]
```

Calcul des émissions atmosphériques pour l'ensemble du tronçon (par catégorie / pour l'ensemble des catégories / jour + nuit) (87 et plus):

Ajout et calcul des champs suivants :

Pour les 6 polluants, calcul :

- des émissions par catégories de véhicule (jour + nuit)

$$E_{jnTrHC_CAR} = ([E]_{kmHC_CAR} + [EN]_{kmHC_CAR}) * ([Shape_Length] / 1000)$$

$$E_{jnTrHC_MC} = ([E]_{kmHC_MC} + [EN]_{kmHC_MC}) * ([Shape_Length] / 1000)$$

$$E_{jnTrHC_PLM} = ([E]_{kmHC_PLM} + [EN]_{kmHC_PLM}) * ([Shape_Length] / 1000)$$

$$E_{jnTrHC_VL} = ([E]_{kmHC_VL} + [EN]_{kmHC_VL}) * ([Shape_Length] / 1000)$$

$$E_{jnTrHC_VT} = ([E]_{kmHC_VT} + [EN]_{kmHC_VT}) * ([Shape_Length] / 1000)$$

...

CO, PM, NOx, CO2, SO2

- des émissions pour l'ensemble des véhicules (jour + nuit)

$$E_{jnTrHC_Tot} = ([E]_{kmHC_JTot} + [E]_{kmHC_NTot}) * ([Shape_Length] / 1000)$$

...

Les résultats sont en grammes.

Exportation et réimportation de la table afin de ne pas avoir de problème lors de l'affichage des valeurs (88-89 / 89 passage à l'autre schéma) :

- Exportation de la couche (feature class) vers une nouvelle couche en format shapefile sous (88) :
C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\TraficRoutierAutreOk.shp
- Réimportation de ce shapefile dans la base de données (BD_ALPSIG_Route) (89) : TraficRoutierAutreOkOk
- les champs suivants sont renommés : LWLS, PLM ; LF, VL ; MR, MC ; PW, VT ; CA, CAR.

Calcul des émissions pour l'ensemble du réseau en grammes (par catégorie / pour l'ensemble des catégories / jour + nuit) (90 et plus) :

A l'aide de l'outil « Summary statistics » la somme (SUM) des colonnes contenant les émissions atmosphériques pour l'ensemble du tronçon (calculs précédents) est faite afin d'obtenir la valeur pour l'ensemble du réseau national :

On obtient la table suivante sous la base de données BD_ALPSIG_Route : StatEmissionsAtmCH

Les résultats sont en grammes.

Calcul des émissions pour l'ensemble du réseau en tonnes (91 et plus):

Utilisation de l'outil « calculate field » pour recalculer les données de la table StatEmissionsAtmCH en tonnes.

Multiplication des valeurs en grammes par 0.000001 pour avoir des tonnes.

Ex. : $SUM_E_{jnTrSO2_Tot} = [SUM_E_{jnTrSO2_Tot}] * 0.000001$

Suppression des champs devenus inutiles (92):

Notamment les champs avec LS ou LW et les champs commençant par EjnT.

Traitement des données routières dans le modèle – Calcul des émissions atmosphériques⁴⁰ et sonores (et coefficient K)

Exportation de la couche relative au trafic transalpin (« TraficRoutierTransalpinOk ») de la base de données BD_RouteDonneesBase vers la base de données BD_ALPSIG_Route afin d'éviter les risques d'erreur.

Rappel au sujet du fonctionnement du modèle : il faut lancer les opérations dans l'ordre (numéros)

Le trafic routier transalpin : hypothèse relative aux tonnes nettes transportées en moyenne par un véhicule (poids lourd) :

Il est admis qu'un poids lourds est un véhicule automobile destiné à transporter des marchandises. Le poids total autorisé en charge d'un poids lourd est supérieur à 3.5 tonnes.

- Les véhicules figurant dans les données de l'enquête CAFT 1999 sont des poids lourds (données demandées).
- Les données LW (camion) et LS (train routier) des comptages suisses de la circulation routière sont des poids lourds (LW + LS = PLM).
- Les PLM (poids lourds marchandises) du logiciel MICET sont des poids lourds.

En 1999 (ARE 2000b), 26,8 millions de tonnes nettes de marchandises ont été transportées à travers les Alpes suisses dont 31.3% par transport routier (68.7% par rail). Un peu plus d'1.2 million de poids lourds ont franchi les Alpes suisses en 1999 (dont 664000 en transit à travers la Suisse). Ainsi, on peut admettre que 8.4 millions de tonnes nettes (26.8*31.3%) ont été transportées par 1.2 millions de poids lourds. L'hypothèse selon laquelle un poids lourd franchissant les Alpes suisses en 1999 transporte en moyenne 7 tonnes nettes (8.3884/1.2 = 6.99) est admise : (26.8*31.3%)/1.2=6.99.

Importation des données relatives au trafic transalpin :

La couche TraficRoutierTransalpinOk de la base de données BD_ALPSIG_RouteDonneesBase est exportée vers la base de données BD_ALPSIG_Route.

On obtient : TraficRoutierTransalpinOk sous BD_ALPSIG_Route

Cf. ModelALPSIG_Route

Re-calcul des émissions atmosphériques du trafic routier transalpin :

- Suppression des champs relatifs aux tonnes brutes et au script 2 (58)

⁴⁰ Du trafic routier transalpin et total.

- Création d'un champ et calcul des tonnes nettes : $A_ToNet99 = A_NbVeh99 * 7$ (59-60)
- Ajout des champs suivants (61-66). Sélection des enregistrements en fonction de la catégorie de route et de la classe de la déclivité et, en considérant les coefficients d'émissions MICET pour chaque cas (catégorie de véhicule : PLM), calcul des émissions de polluants atmosphériques (jour et nuit) – (67-80 et plus) – ATTENTION : effectuer dans l'ordre
 - AEkmHC = [A_NbVeh99] * coefficient MICET
 - AEkmCO = [A_NbVeh99] * coefficient MICET
 - AEkmNOx = [A_NbVeh99] * coefficient MICET
 - AEkmPM = [A_NbVeh99] * coefficient MICET
 - AEkmCO2 = [A_NbVeh99] * coefficient MICET
 - AEkmSO2 = [A_NbVeh99] * coefficient MICET

Calcul du trafic transalpin et de ces émissions dans les deux sens (dissolve) :

- Fusion des tronçons de la couche relative au trafic transalpin (« TraficRoutierTransalpinOk ») en fonction de leur longueur (« Dissolve » avec le champ « shape length ») afin d'obtenir le trafic dans les deux sens (comme pour le trafic « autre »). On obtient TraficRoutierTransalpinOkDiss (81) sous la base de données BD_ALPSIG_Route.
Une somme (SUM) est réalisé pour les champs relatifs au nombre de véhicule, aux tonnes nettes et aux différentes émissions. On a ainsi le trafic total (nombre de véhicule et tonnes nettes) et les émissions totales pour les différents tronçons.

Transformation des données linéaires en données ponctuelles :

- Transformation des données linéaires TraficRoutierTransalpinOkDiss en données ponctuelles à l'aide de l'outil « Feature vertices to points » (82).
- On obtient TraficRoutierTransalpinOkDissPoints sous BD_ALPSIG_Route.

STOP Modèle – hors modèle :

- Sous ArcMap, importation des couches suivantes (BD_ALPSIG_Route) :
 - TraficRoutierAutreOkOk
 - TraficRoutierTransalpinOkDissPoints
- Depuis TraficRoutierAutreOkOk on fait un spatial join avec TraficRoutierTransalpinOkDissPoints : « Each line will be given a summary of the numeric attributes of the points that are intersect by it » (MAX).
Durée: environ 40 minutes
On obtient: TraficRoutierAlpesAutre sous BD_ALPSIG_Route.

Vérification et correction des données transalpines attribuées :

- Exportation de la couche TraficRoutierAlpesAutre de la base de données BD_ALPSIG_Route vers l'espace de travail ALPSIG_ws afin que les valeurs « null » soient remplacées par des « 0 »
Pour cela la couche (feature class) est transformée en format shapefile – « feature class to feature class » (83).
Modification des noms des champs afin qu'ils soient compréhensibles (SUM est supprimé, etc.).
On obtient : TraficRoutierAlpesAutre.shp sous ALPSIG_ws
- Ajout d'un nouveau champ « intersect » (type : short) – (84)
- Mise de la valeur à 0 par défaut pour ce champ (85)
- Création d'une layer (« Make feature layer » - sélection) avec la couche TraficRoutierAlpesAutre (86-1) et une autre avec la couche TraficRoutierTransalpin (86-2) afin qu'il soit possible de (86 et plus) :
- sélectionner les données de la couche TraficRoutierAlpesAutre contenues par la couche TraficRoutierTransalpin : utilisation de l'outil « Select layer by location » (TraficRoutierAlpesAutre / contained by / TraficRoutierTransalpin / New selection) – (86-3)
- attribution de la valeur 1 au champ « intersect » pour les données sélectionnées (calculate field) – (86-4)
- Sélection des enregistrements (« Make feature layer ») qui ont :
"A_NbVeh99" > 0 AND "intersect" = 0 (87) – Attention : cette sélection doit se faire à partir du TraficRoutierAlpesAutre.shp et non à partir d'une précédente sélection.
Mise à 0 des valeurs de tonnage, d'émission et de trafic (A_NbVeh99 – attention en dernier sinon la sélection ne marche pas !!!) pour ces enregistrements (88 et plus).

Exportation des résultats dans une nouvelle base de données et compactage de la BD :

- Exportation de la couche (.shp) de l'espace de travail ALPSIG_ws vers C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\BD_ALPSIG_Route2.mdb\Routes. On a TraficRoutierAlpesAutreOk (89).
Les noms des champs sont modifiés (les noms des champs des shapefiles étant plus courts, la fin du nom est parfois coupée ; de plus transformation de A_EkmHC en AEkmHC). L'outil « Feature Class To Feature Class » est utilisé.
Cette couche (feature class) est exportée dans une nouvelle base de données sinon le message d'erreur suivant apparaît : « Too many fields defined »⁴¹. (Par sécurité, la base de données peut également être compactée).

Calcul de la proportion de trafic transalpin diurne et nocturne (en nombre de PLM) :

- En fonction du trafic « autre », calcul de la proportion de poids lourds transalpins ainsi que des tonnes circulant la nuit et le jour. Calcul également des émissions des différents polluants le jour et la nuit provenant du trafic transalpin.
- Pour cela ajout des champs suivants (« add field » : 90 et plus)

⁴¹ Access keeps an internal count of total number of fields in a table and has a limit of 255 fields per table. Each time you modify a field or add a field, this count increases by 1. When you delete a field, Access does NOT reset this counter. So it's possible for you to have less than 255 fields and still get this error message. If your field count is less than 255, just compact the database again which should reset the internal field count counter.

Sélection des données ayant : [PLM_0622] = 0 AND [PropPLM_2206] = 0 et les valeurs suivantes leur sont attribuées :
 PropPLM_0622 = 100 et PropPLM_2206 = 0

L'hypothèse selon laquelle, si il n'y a pas de trafic routier « autre » sur un tronçon, la proportion du trafic journalier est égale à 100 et le trafic diurne est nul est admise.

- Calcul des champs suivants pour les enregistrements ayant [A_NbVeh99] > 0 – « Make feature layer » et « Calculate value » (91 et plus) :

```
ANbVeh99J = [A_NbVeh99]*([PropPLM_0622]/100)
ANbVeh99N = [A_NbVeh99]*([PropPLM_2206]/100)
AToNet99J = [A_ToNet99]*([PropPLM_0622]/100)
AToNet99N = [A_ToNet99]*([PropPLM_2206]/100)
AEkmHCJ = [A_EkmHC]*([PropPLM_0622]/100)
AEkmCOJ = [A_EkmCO]*([PropPLM_0622]/100)
AEkmNOxJ = [A_EkmNOx]*([PropPLM_0622]/100)
AEkmPMJ = [A_EkmPM]*([PropPLM_0622]/100)
AEkmCO2J = [A_EkmCO2]*([PropPLM_0622]/100)
AEkmSO2J = [A_EkmSO2]*([PropPLM_0622]/100)
AEkmHCN = [A_EkmHC]*([PropPLM_2206]/100)
AEkmCON = [A_EkmCO]*([PropPLM_2206]/100)
AEkmNOxN = [A_EkmNOx]*([PropPLM_2206]/100)
AEkmPMN = [A_EkmPM]*([PropPLM_2206]/100)
AEkmCO2N = [A_EkmCO2]*([PropPLM_2206]/100)
AEkmSO2N = [A_EkmSO2]*([PropPLM_2206]/100)
```

- Mise à 0 de la valeur des champs qui ont été calculés précédemment lorsque [A_NbVeh99] = 0 (92 et plus).
- Ajout des champs suivants et calcul les émissions totales (AA) pour chaque polluant (« autre » (E) et alpes (AE)) – (93 et plus) :

```
AAETotHCJ = [AEkmHCJ] + [EkmHC_JTot]
AAETotHCN = [AEkmHCN] + [EkmHC_NTot]
AAETotCOJ = [AEkmCOJ] + [EkmCO_JTot]
AAETotCON = [AEkmCON] + [EkmCO_NTot]
AAETotNOxJ = [AEkmNOxJ] + [EkmNOx_JTot]
AAETotNOxN = [AEkmNOxN] + [EkmNOx_NTot]
AAETotPMJ = [AEkmPMJ] + [EkmPM_JTot]
AAETotPMN = [AEkmPMN] + [EkmPM_NTot]
AAETotCO2J = [AEkmCO2J] + [EkmCO2_JTot]
AAETotCO2N = [AEkmCO2N] + [EkmCO2_NTot]
AAETotSO2J = [AEkmSO2J] + [EkmSO2_JTot]
AAETotSO2N = [AEkmSO2N] + [EkmSO2_NTot]
```

- Ajout des champs suivants et calcul de la proportion d'émission générée par le trafic transalpin (94 et plus):
 « Make feature layer » : [ANbVeh99J] <= 0 ou [ANbVeh99N] <= 0 alors les différentes proportions sont égales à = 0
 Sinon, calcul (« Make feature layer » : [ANbVeh99J] > 0 ou [ANbVeh99N] > 0):

```
PropEAHCJ = ([AEkmHCJ]*100)/[AAETotHCJ]
PropEAHCN = ([AEkmHCN]*100)/[AAETotHCN]
PropEACJ = ([AEkmCOJ]*100)/[AAETotCOJ]
PropEACN = ([AEkmCON]*100)/[AAETotCON]
PropEANoxJ = ([AEkmNOxJ]*100)/[AAETotNOxJ]
PropEANoxN = ([AEkmNOxN]*100)/[AAETotNOxN]
PropEAPMJ = ([AEkmPMJ]*100)/[AAETotPMJ]
PropEAPMN = ([AEkmPMN]*100)/[AAETotPMN]
PropEACO2J = ([AEkmCO2J]*100)/[AAETotCO2J]
PropEACO2N = ([AEkmCO2N]*100)/[AAETotCO2N]
PropEASO2J = ([AEkmSO2J]*100)/[AAETotSO2J]
PropEASO2N = ([AEkmSO2N]*100)/[AAETotSO2N]
```

Calcul des émissions par tronçon pour le trafic transalpin et le trafic total (jour + nuit) :

Calcul déjà fait pour le trafic autre.

- Calcul des émissions par tronçon pour le trafic transalpin
 = émissions par km * (shape length (m)/1000)

Ajout et calcul des champs (double) suivants (95 et plus):

```
AjnTrHC = ([AEkmHCJ] + [AEkmHCN]) * ([Shape_Length]/1000)
AjnTrCO = ([AEkmCOJ] + [AEkmCON]) * ([Shape_Length]/1000)
AjnTrNOx = ([AEkmNOxJ] + [AEkmNOxN]) * ([Shape_Length]/1000)
AjnTrPM = ([AEkmPMJ] + [AEkmPMN]) * ([Shape_Length]/1000)
AjnTrCO2 = ([AEkmCO2J] + [AEkmCO2N]) * ([Shape_Length]/1000)
AjnTrSO2 = ([AEkmSO2J] + [AEkmSO2N]) * ([Shape_Length]/1000)
```

Calcul des émissions induites par le trafic transalpin de marchandises pour l'ensemble du réseau en grammes puis en tonnes :

A l'aide de l'outil « Summary statistics » la somme (SUM) des colonnes contenant les émissions atmosphériques pour l'ensemble du tronçon est faite (calculs précédents) afin d'obtenir les émissions du trafic transalpin pour l'ensemble du réseau national (95 et plus).

On obtient la table suivante sous BD_ALPSIG_Route2 : **StatEmissionsAtmAlpes**

Les résultats sont en grammes.

Utilisation de l'outil « Calculate field » pour re-calculer les données de la table StatEmissionsAtmAlpes en tonnes (95 et plus).

Multiplication des valeurs en grammes par 0.000001 pour avoir des tonnes

Afin d'avoir les émissions induites à l'échelle nationale par le trafic total la somme des émissions du trafic « autre » (StatEmissionsAtmCH) et des émissions du trafic transalpin (StatEmissionsAtmAlpes) est faite.

Les résultats obtenus sont comparés aux résultats obtenus par l'OFEV : OFEFP 2004a).

Calcul des PLM/km pour vérifier si le pourcentage des émissions atmosphériques induites par le trafic transalpin de marchandises par rapport aux émissions induites par le trafic « autre » de marchandises est correct:

- Ajout et calcul des champs suivants (95 et plus) :
 $AVehKmJN = ([ANbVeh99J] + [ANbVeh99N]) * ([Shape_Length] * 0.001)$
 $EPLMKmJN = ([PLM_0622] + [PLM_2206]) * ([Shape_Length] * 0.001)$
- « Summary statistics »:
SUM : AVehKmJN
SUM : EPLMKmJN

On obtient la table StatPLMKmCHAlpes sous BD_ALPSIG_Route2

Exportation de la table TraficRoutierAlpesAutreOk vers une nouvelle base de données et on renomme / supprime un certain nombre de colonnes par souci de clarté :

Exportation de la table TraficRoutierAlpesAutreOk vers C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws : TraficRoutierAlpesAutreOk.shp. (96). Utilisation d'un shapefile pour les calculs car avec une « feature class » des difficultés sont parfois rencontrées (problem sorting).

Calcul des émissions sonores du trafic routier total et « autre » - méthode :

- Hypothèses pour le calcul des émissions dB(A)
Pour obtenir le trafic horaire déterminant diurne (THDj) la somme des différents types de véhicules (trafic transalpin : ANbVeh ; trafic « autre » : CAR, MC, PLM, VL, VT) circulant la journée durant l'année est faite et cette somme est divisée par 264 (nombre de jours ouvrables) et par 16 (trafic horaire moyen).
Pour obtenir le trafic horaire déterminant nocturne (THDn) la somme des différents types de véhicules circulant la nuit durant l'année est faite et cette somme est divisée par 264 (nombre de jours ouvrables) et par 8 (trafic horaire moyen).
Pour calculer la proportion diurne de poids lourds (ETAj) la somme des poids lourds transalpins et des poids lourds « autres » circulant la journée est faite et cette somme est divisée par 16 (trafic horaire moyen).
Pour calculer la proportion nocturne de poids lourds (ETAn) la somme des poids lourds transalpins et des poids lourds « autres » circulant la nuit est faite et cette somme est divisée par 8 (trafic horaire moyen).
Pour obtenir la vitesse (V) sur les différents tronçons la moyenne des vitesses des différents types de véhicules pris en compte est faite (CAR, MC, PLM, VL, VT).

Calcul du Leq du trafic total:

Calcul des émissions sonores induites par l'ensemble du trafic durant la journée et durant la nuit.

Formule :

$$Leq = A + 10 * \log [(1 + (V/50)^3) * (1 + B * ETA * (1 - V/150))] + 10 * \log [THD] \text{ dB(A)}$$

Avec : A = 42 (constante empirique)

B = 20 (constante empirique)

- Ajout d'un champ et calcul de la vitesse moyenne des véhicules (Alpes et autre / toute catégorie) – (97-98):
 $V_{moy} = ([V_CAR] + [V_MC] + [V_PLM] + [V_VL] + [V_VT]) / 5$
- Suppression de certains champs : V_PLM, ..., AjnTrHC, ... (99)
- Ajout d'un champ et calcul du nombre total de véhicules (Alpes et autre / toute catégorie) circulant durant la journée/la nuit et ceci pendant l'année – (100 et plus):
 $AA_{TotVehJ} = [ANbVeh99J] + [PLM_0622] + [CAR_0622] + [MC_0622] + [VL_0622] + [VT_0622]$
 $AA_{TotVehN} = [ANbVeh99N] + [PLM_2206] + [CAR_2206] + [MC_2206] + [VL_2206] + [VT_2206]$
- Ajout d'un champ et calcul du nombre total de poids lourds (Alpes et autre) circulant durant la journée/la nuit et ceci pendant l'année (101 et plus) :
 $AA_PLMJ = [ANbVeh99J] + [PLM_0622]$
 $AA_PLMN = [ANbVeh99N] + [PLM_2206]$
- Ajout d'un champ et calcul de la proportion de poids lourds (Alpes et autre) circulant durant la journée (102)/la nuit (103):
 $AAETAj = (([AA_PLMJ] * 100) / [AA_{TotVehJ}]) / 100$
 $AAETAn = (([AA_PLMN] * 100) / [AA_{TotVehN}]) / 100$

Trafic diurne :

Avec : $AATHDj = [AA_{TotVehJ}] / 264 / 16$

- Ajout du champ AALeqJ et calcul (104) :
 $AALeqJ = 42 + (10 * \log ((1 + (V_{moy} / 50)^3) * (1 + 20 * [AAETAj] * (1 - (V_{moy} / 150)))) / \log(10)) + 10 * \log ([AATHDj] / 264 / 16) / \log(10)$

Trafic nocturne :

Avec : $AATHDn = AA_{TotVehN} / 264 / 8$

- Ajout du champ AALeqN et calcul (105) :
 $AALeqN = 42 + (10 * \log ((1 + (V_{moy} / 50)^3) * (1 + 20 * [AAETAn] * (1 - (V_{moy} / 150)))) / \log(10)) + 10 * \log ([AATHDn] / 264 / 8) / \log(10)$

Calcul du Leq du trafic « autre »:

Calcul des émissions sonores induites par le trafic « autre » durant la journée et durant la nuit.

Formule :

$$Leq = A + 10 * \log [(1 + (V/50)^3) * (1 + B * ETA * (1 - V/150))] + 10 * \log [THD] \text{ dB(A)}$$

Avec : A = 42 (constante empirique)

B = 20 (constante empirique)

$V_{moy} = ([V_CAR] + [V_MC] + [V_PLM] + [V_VL] + [V_VT]) / 5$

PLM_0622 : nombre « autre » de poids lourds circulant durant la journée

PLM_2206 : nombre « autre » de poids lourds circulant durant la nuit

- Ajout d'un champ et calcul du nombre de véhicules « autre » (toute catégorie) circulant durant la journée/la nuit et ceci pendant l'année – (106 et plus):

$aTotVehJ = [PLM_0622] + [CAR_0622] + [MC_0622] + [VL_0622] + [VT_0622]$

$aTotVehN = [PLM_2206] + [CAR_2206] + [MC_2206] + [VL_2206] + [VT_2206]$

Ajout d'un champ et calcul de la proportion de poids lourds « autre » circulant durant la journée (107) /la nuit (108):

$aETAj = (([PLM_0622]*100) / [aTotVehJ]) / 100$

$aETAn = (([PLM_2206]*100) / [aTotVehN]) / 100$

Trafic diurne :

Avec: $aTHDj = [aTotVehJ] / 264 / 16$

Ajout du champ aLeqJ et calcul (109) :

$aLeqJ = 42 + (10 * \log((1 + ([Vmoy] / 50)^3) * (1 + 20 * [aETAj] * (1 - [Vmoy] / 150)))) / \log(10) + 10 * \log([aTotVehJ] / 264 / 16) / \log(10)$

Trafic nocturne :

Avec: $aTHDn = [aTotVehN] / 264 / 8$

Ajout du champ aLeqN et calcul (110) :

$aLeqN = 42 + (10 * \log((1 + ([Vmoy] / 50)^3) * (1 + 20 * [aETAn] * (1 - [Vmoy] / 150)))) / \log(10) + 10 * \log([aTotVehN] / 264 / 8) / \log(10)$

Attribution des coefficients de correction K en fonction du volume de trafic :

Calcul de la valeur du coefficient de correction K en vue du calcul du niveau d'évaluation Lr pour le trafic total et pour le trafic « autre » (jour/nuit) :

- Ajout des champs aKJ, aKN, AAKJ et AAKN et mise de la valeur à 0 par défaut. (111 et plus)
On a le trafic horaire déterminant: $AATHDj = [aTotVehJ] / 264 / 16$

$AATHDn = [aTotVehN] / 264 / 8$

$aTHDj = [aTotVehJ] / 264 / 16$

$aTHDn = [aTotVehN] / 264 / 8$

- Sélection des enregistrements en fonction du trafic horaire (« Make feature layer ») et calcul de la valeur K (« Calculate field ») :

Pour le trafic total diurne (112-113) :

Si $[AATHDj] / 264 / 16 < 31.6$

Alors AAKJ = -5

Si $[AATHDj] / 264 / 16 \geq 31.6$ AND $[AATHDj] / 264 / 16 \leq 100$

Alors AAKJ = $10 * \log([AATHDj] / 264 / 16 / 100) / \log(10)$

Déjà calculé (valeur par défaut) : Si $[AATHDj] / 264 / 16 > 100$ Alors AAKJ = 0

Pour le trafic total nocturne (114-115) :

Si $[AATHDn] / 264 / 8 < 31.6$

Alors AAKN = -5

Si $[AATHDn] / 264 / 8 \geq 31.6$ AND $[AATHDn] / 264 / 8 \leq 100$

Alors AAKN = $10 * \log([AATHDn] / 264 / 8 / 100) / \log(10)$

Déjà calculé (valeur par défaut) : Si $[AATHDn] / 264 / 8 > 100$ Alors AAKN = 0

Pour le trafic « autre » diurne (116-117) :

Si $[aTHDj] / 264 / 16 < 31.6$

Alors aKJ = -5

Si $[aTHDj] / 264 / 16 \geq 31.6$ AND $[aTHDj] / 264 / 16 \leq 100$

Alors aKJ = $10 * \log([aTHDj] / 264 / 16 / 100) / \log(10)$

Déjà calculé (valeur par défaut) : Si $[aTHDj] / 264 / 16 > 100$ Alors aKJ = 0

Pour le trafic « autre » nocturne (118-119) :

Si $[aTHDn] / 264 / 8 < 31.6$

Alors aKN = -5

Si $[aTHDn] / 264 / 8 \geq 31.6$ AND $[aTHDn] / 264 / 8 \leq 100$

Alors aKN = $10 * \log([aTHDn] / 264 / 8 / 100) / \log(10)$

Déjà calculé (valeur par défaut) : Si $[aTHDn] / 264 / 8 > 100$ Alors aKN = 0

Suppression de deux champs :

Suppression des champs suivants (120) : AVehKmJN

EPLMKmJN

Exportation de la couche (shapefile) vers la base de données BD_ALPSIG_Route3 :

Exportation de la couche TraficRoutierAlpesAutreOk.shp de l'espace de travail ALPSIG_ws vers la base de données BD_ALPSIG_Route3 (121).

On obtient TraficRoutierAlpesAutreOk sous BD_ALPSIG_Route3

Modification du nom des champs (les noms pouvant figurer dans les features class peuvent être plus long que ceux figurant dans les shapefiles)

Remarques:

Pour le calcul des émissions sonores du trafic ferroviaire il a été nécessaire de distinguer les émissions générées par les trains marchandises et les trains voyageurs. Les émissions provenant de ces deux types de trains ont alors été additionnées.

Pour la route, cette distinction n'est pas nécessaire étant donné que la formule utilisée pour le calcul des émissions sonores tient compte du nombre de véhicule (tous types confondus) et de la proportion de poids lourds.

La correction de niveau K est calculée en fonction du trafic horaire :

= trafic nocturne / 8

= trafic diurne / 16

Les formules de l'OPB permettant de déterminer le trafic moyen de jour et de nuit des véhicules à moteur ne sont pas utilisées étant donné que les données que les données utilisées distinguent déjà les trafics nocturnes et diurnes. Ces formules sont utilisées si on souhaite calculer les trafics moyens de jour et de nuit à partir du TJM (trafic journalier moyen).

Nt (trafic horaire de jour) = 0.058*TJM

Nn (trafic horaire de nuit) = 0.009 * TJM

Traitement des données routières dans le modèle - Prise en compte des tunnels et données ponctuelles

Ces traitements peuvent être mis à la fin du modèle ModelALPSIG_Route.

Toutefois, un nouveau modèle est créé (ModelALPSIG_Route_Suite) et ceci pour plusieurs raisons : vitesse d'exécution des outils, vitesse d'exécution du modèle, risque d'erreur moins important.

ATTENTION : il faut lancer les opérations dans l'ordre (numéros) – sinon on rencontre des problèmes lors des calculs.

Cf. ModelALPSIG_Route_Suite

Importation des données dans une nouvelle base de données :

Compact geodatabase (1):

La base de données BD_ALPSIG_Route4 est compactée (« compact »).

« Compacting rearranges how the database is stored on disk, often reducing its size and improving performance. »

Exportation des données vers la base de données BD_ALPSIG_Route4 (2) :

La couche TraficRoutierAlpesAutreOk est exportée dans la base de données BD_ALPSIG_Route3

On obtient TraficRoutier vers C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\BD_ALPSIG_Route4.mdb\Routes

Delete fields (3):

Suppression des champs devenus inutiles.

Ex. : PropEAHCJ, ..., Z_Origine, ...

Correction de la topologie (5-6) :

- La topologie du réseau routier n'est pas correcte et doit être corrigée.
Le mieux aurait été de le faire avant (au minimum au début du ModelALPSIG_Route) mais cela n'a pas été fait étant donné qu'aucun problème lié à la topologie n'est apparu jusqu'ici.
- L'outil « Check Geometry » est utilisé (5) et une table contenant les erreurs TraficRoutier_ChG est obtenue sous C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\BD_ALPSIG_Route4.mdb
- Utilisation de l'outil « Repair Geometry » (6) pour corriger le réseau TraficRoutier (C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\BD_ALPSIG_Route4.mdb\Routes)

Compact geodatabase (7):

La base de données BD_ALPSIG_Route4 est compactée (« compact »).

Prise en compte des tunnels routiers:

L'hypothèse selon laquelle les émissions au niveau des principaux tunnels (TunnelsRoute sous C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\BD_ALPSIG_General.mdb\DonneesGenerales⁴²) sont nulles est admise. Dans la réalité, ces émissions aux abords des tunnels ne sont pas nulles et sont relativement complexes à mesurer. Les limites liées à cette hypothèse sont connues.

Dans la même base de données, les données routières sur lesquelles on va travailler sont copiées (8-1) :

La couche TraficRoutier est copiée et on obtient TraficRoutierOk sous:

C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\BD_ALPSIG_Route4.mdb\Routes

Exportation de la couche TraficRoutierOk de BD_ALPSIG_Route4 vers l'espace de travail ALPSIG_ws afin d'avoir une couche en format shapefile (8-2) :

On obtient : TraficRoutierOk.shp

Création de « layers » (9-10):

Création d'une layer (« Make feature layer ») pour le trafic routier ainsi qu'une layer pour les tunnels afin de pouvoir sélectionner les tronçons en fonction de la localisation des tunnels et du réseau routier (utilisation de l'outil « Select layer by location »).

Intersect (11):

Sélection des tronçons routiers qui se trouvent au niveau de tunnels: « intersect »

« The features in the input layer will be selected if it intersects a select feature. This is the default. »

« search distance » de 1 mètre est choisie. *« When the selection is performed, the buffer around each input feature is used instead of the feature itself. »*

Annulation des émissions (12 et plus):

Les émissions au niveau de ces tronçons étant émises dans un tunnel sont nulles.

« Calculate field » = 0

Transformation des données linéaires en données ponctuelles (13 et plus – grand schéma) :

⁴² Prêter attention lors de l'intersection entre les tunnels et le réseau routier. Lorsqu'il y a des intersections, il est préférable de supprimer le polygone existant et le remplacer par plusieurs polygones afin que les routes intersectées ne soient pas associées au tunnel.

Transformation des données linéaires en données « raster » :

Utilisation des données TraficRoutierOk de la BD_ALPSIG_Route4

Afin que tous les outils puissent être exécutés (affichés sans ombre), il faut double cliquer sur la couche (feature classe) TraficRoutierOk (ovale bleu) et aller recherche TraficRoutierOk sous BD_ALPSIG_Route4

Utilisation de l'outil « Feature to raster »

Choix d'une résolution de 25 mètres (pixels de 25x25 m)

Pour le bruit, on obtient : route_aaleqj

route_aakj
route_aaleqn
route_aakn
route_aaleqj
route_akj
route_aaleqn
route_akn

Pour les émissions atmosphériques, on obtient : route_ehcj

route_ehcn
route_ecej
route_econ
...
route_aahcj
route_aahcn
route_aacoj
route_aacon
...

Reclassement d'une couche de données « raster » :

Pour transformer des données « raster » en données ponctuelles, il est nécessaire que les données « raster » soient des Integer et non des floating points. De ce fait, il est nécessaire de créer une couche de points à partir d'une couche « raster » (en l'occurrence la couche représentant les émissions AALeqJ), les points ayant tous la même valeur (0).

Utilisation de l'outil « Reclassify » : la valeur 0 est mise partout dans la colonne « New value » excepté pour la ligne « No data ».

On obtient : Route_Recl0

Transformation des données « raster » « re-classifiées » en données ponctuelles :

Utilisation de l'outil « Raster to point »

On obtient : route_points

Récupération, pour chaque point, des données d'émission à partir du « raster » d'origine :

Cela est fait pour la première couche prise en compte (en l'occurrence la couche représentant les émissions AALeqJ).

Utilisation de l'outil « Extract value to points » (les deux options ne sont pas cochées).

On obtient : Route_BruitAir_1

ATTENTION : Vérifier qu'on n'ait pas de valeurs égales à -9999

Ajout des coordonnées x et y aux points obtenus précédemment :

Utilisation de l'outil « Add XY coordinates » (durée du traitement : environ 16h)

Ajout et calcul d'un nouveau champ et suppression du champ issu de la récupération des données « raster » :

Ajout d'un nouveau champ AALeqJ (« Add field »), et calcul AALeqJ = [RASTERVALU] (« Calculate field »).

Suppression du champ d'origine [RASTERVALU] (« Delete field »)

Boucle afin de récupérer les autres données d'émission pour les mêmes points ; afin d'ajouter et de calculer un nouveau champ :

« Extract value to points »:

« Add field »

« Calculate field »

« Delete field »:

On obtient: Route_BruitAir_2
Route_BruitAir_3
...
Route_BruitAir_32

Création d'un fichier texte (.txt) pour une utilisation dans Matlab :**Exportation des résultats obtenus dans BD_ALPSIG_Route6 :**

Utilisation de l'outil « Feature class to geodatabase »

On obtient: Route_BruitAir_32

STOP Modèle – hors modèle :**Accrochage des points au réseau et création d'un fichier texte (.txt) pour une utilisation dans Matlab :****Accrochage des points au réseau (durée : environ 48 h):**

Dans ArcMap :

- Importation de : Route_BruitAir_32.shp (sous ALPSIG_ws)
TraficRoutierOk.shp (sous ALPSIG_ws) – Cf. (8)

- Accrochage des données ponctuelles (Route_BruitAir_32) au réseau (TraficRoutierOk) à l'aide du script « Accrocher des points à des lignes » (zones tampon/buffer de 25 mètres). Création d'une nouvelle entité afin d'avoir une couche en format shapefile : Route_BruitAir_Ok.shp (sous ALPSIG_ws).
- Un ensemble de points localisés précisément sur le réseau est ainsi obtenu.
- Exportation de la couche Route_BruitAir_Ok.shp sous la base de données BD_ALPSIG_Route6.

Retour au modèle – ModelALPSIG_Route_Suite:

Les données météorologiques (valeurs u et v) sont ajoutées aux données ponctuelles Route_BruitAir_Ok (sous ALPSIG_ws):

Pour la situation météorologique « brise montante » (14):

- Extraction des données météorologiques au moyen de l'outil « Extract values to points » (l'option « Interpolate values at the point locations⁴³ » est cochée) avec les couches : Route_BruitAir_Ok.shp (sous ALPSIG_ws)
BriseM_U (« raster » - sous ALPSIG_ws\Matlab\Donnees_Meteorologie\BriseMontante)
- On obtient : Route_BruitAir_BriseM_U
- Ajout d'un nouveau champ « U »
- Calcul de la valeur du champ $U = \text{RASTERVALU}$
- Suppression du champ RASTERVALU
- « Extract values to points » (l'option « Interpolate values at the point locations » est cochée) avec les couches :
Route_BruitAir_BriseM_U.shp (sous ALPSIG_ws)
BriseM_V (« raster » - sous ALPSIG_ws\Matlab\Donnees_Meteorologie\BriseMontante)
- On obtient : Route_BruitAir_BriseM_UV
- Ajout d'un nouveau champ « V »
- Calcul de la valeur du champ $V = \text{RASTERVALU}$
- Suppression du champ RASTERVALU
- Exportation de la couche Route_BruitAir_BriseM_UV sous BD_ALPSIG_Route6
- Suppression des champs Point_X et Points_Y (« Delete field ») car ces coordonnées ont changées suite à l'accrochage des points
- Ajout des coordonnées x y (« Add XY Coordinates ») correspondantes aux points accrochés au réseau : ajout des colonnes POINT_X et POINT_Y

Pour la situation Vent Nord Est (15)

Pour la situation Vent Ouest (16)

Pour la situation Vent Sud Ouest (17)

STOP Modèle – hors modèle :

A faire pour les différentes situations météorologiques !

Exemple avec la brise montante.

Attribution de l'identifiant des tronçons aux différents points :

- Depuis la couche Route_BruitAir_BriseM_UV (BD_ALPSIG_Route6) une jointure spatiale est faite avec la couche TraficRoutierOk.shp (sous ALPSIG_ws) et avec l'option « each point will be given all the attributes... ». On obtient Route_BruitAir_BriseM_Ok sous BD_ALPSIG_Route6 ou BD_ALPSIG_Route7.
- Suppression de tous les champs qui ont été ajoutés lors du joint spatial soit les champs se terminant par _1. Le champ relatif à l'identifiant des différents tronçons (FID_1) est conservé.
- Suppression des enregistrements dont les valeurs de u et de v sont égales à -9999 (données absentes) : « Select by attribute » : $u = -9999$ and $v = -9999$; edit, start editing ; delete ; save et stop edit

Tri croissant des enregistrements en fonction de l'identifiant des tronçons (FID_1) et des coordonnées x et y :

Il est nécessaire de trier les enregistrements afin que l'ensemble des points se suivant dans l'espace se suivent dans la table et soient ainsi extrapolés.

Dans Access :

- Ouverture de la base de données BD_ALPSIG_Route6 ou BD_ALPSIG_Route7 depuis Access
- Création d'une requête à partir de la table Route_BruitAir_BriseM_Ok : tri croissant selon les FID et les x.
- On obtient la requête : Route_BruitAir_BriseM_OkOk1
- Création d'une requête à partir de la table Route_BruitAir_BriseM_Ok : tri croissant selon les FID et les y.
- On obtient la requête : Route_BruitAir_BriseM_OkOk2

Création de fichiers texte (.txt) :

Depuis Access (BD_ALPSIG_Route6 ou BD_ALPSIG_Route7), exportation des différentes tables de points (Route_BruitAir_BriseM_OkOk1, Route_BruitAir_BriseM_OkOk2, etc.) vers un fichier texte (.txt):

Lorsque les données ponctuelles sont exportées depuis Access vers un fichier texte (.txt) :

- choisir « longueur fixe – les champs sont alignés en colonnes, des espaces séparant chaque champs »

On obtient :

```
Route_BruitAir_BriseM_ScBase_1.txt
Route_BruitAir_BriseM_Sc1_1.txt
Route_BruitAir_NE_ScBase_1.txt
Route_BruitAir_NE_Sc1_1.txt
Route_BruitAir_O_ScBase_1.txt
Route_BruitAir_O_Sc1_1.txt
Route_BruitAir_SO_ScBase_1.txt
Route_BruitAir_SO_Sc1_1.txt
Route_BruitAir_BriseM_ScBase_2.txt
```

⁴³ « The value of the cell will be calculated from the adjacent cells with valid values using bilinear interpolation. NoData will be ignored in the interpolation unless all adjacent cells are NoData » ArcGIS Desktop Help (9.1)

Route_BruitAir_BriseM_Sc1_2.txt
Route_BruitAir_NE_ScBase_2.txt
Route_BruitAir_NE_Sc1_2.txt
Route_BruitAir_O_ScBase_2.txt
Route_BruitAir_O_Sc1_2.txt
Route_BruitAir_SO_ScBase_2.txt
Route_BruitAir_SO_Sc1_2.txt

Sous : C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\Matlab\DonneesTxt_ScenarioDeBase ou \Scenario1, etc.

Annexe 21 : Traitement des données météorologiques

Traitement et importation des données dans Access et ArcGIS :

Ces traitements ont été effectués en premier lieu sur les données relatives à la situation de brise montante étant donné que ces données ont été disponibles avant les autres et que cette situation météorologique aurait dû être normalement considérée par la suite.

Brise montante :

Ouverture du fichier CRUEX_5k_2005_KESS_270_V02.ven dans WinEdt.

- Copie des lignes correspondant aux noms des colonnes et sauvegarde de ces lignes sous un nouveau fichier : NomsColonnes_BriseMontante.txt
- Suppression des noms des colonnes puis enregistrement du fichier sous format texte (.txt) : CRUEX_5k_2005_KESS_270_V02.txt (ou modification directement l'extension .ven en .txt)

(sous : C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\Matlab\Donnees_Meteorologie\BriseMontante)

Un problème est rencontré lors de l'importation du fichier CRUEX_5k_2005_KESS_270_V02.txt dans une base de données Access. En effet, le champ des x contient d'autres valeurs et il est nécessaire d'isoler la valeur des x. Pour cela :

Le fichier CRUEX_5k_2005_KESS_270_V02.txt est importé deux fois sous BD_BriseMontante.mdb (C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\Matlab\Donnees_Meteorologie)

On obtient : BriseMontante_1
BriseMontante_2

Dans ArcGIS (modèle « ModelDonneesMeteorologie ») :

- sélection des enregistrements de BriseMontante_1 dont les valeurs du champ2 sont « Null » (1)
- on obtient ainsi BriseMontante_1b
- suppression du champ1 de la table BriseMontante_1b (2)
- sélection des enregistrements de BriseMontante_2 dont les valeurs du champ2 sont « Null » (3)
- on obtient ainsi BriseMontante_2b
- suppression de tous les champs de la table BriseMontante_2b à l'exception du champ1 (4)
- ajout d'un champ à la table BriseMontante_2b : Identifiant (type : long) (5)
- calcul de la valeur de ce nouveau champ = [OBJECTID] (6)

Dans Access :

- à partir de la BD SimulationsMeteo.mdb, exportation de BriseMontante_2b en format texte (.txt) : « longueur fixe », sous C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\Matlab\Donnees_Meteorologie\BriseMontante
- réimportation ensuite de BriseMontante_2b.txt dans cette même base de données (longueur fixe / champs de type texte à l'exception du champ 4 qui est un identifiant et qui doit donc être de type numérique / on nomme le champ3 « x » et le champ4 « Identifiant ») – on obtient BriseMontante_2c
- ajout d'une relation entre OBJECTID de la table BriseMontante_1b et le champ4 (Identifiant) de la table BriseMontante_2c
- une requête entre ces deux tables est faite afin de sélectionner l'ensemble des champs de la table BriseMontante_1b et la table BriseMontante_2c : Requête_BriseMontante
- exportation de Requête_BriseMontante en format texte (.txt) (inclure les noms des champs sur la première ligne) – on obtient Requête_BriseMontante.txt
- réimportation de cette requête dans la base de données afin d'avoir une table (délimité / points virgule / première ligne contient le nom des champs) – on obtient BriseMontanteOk
- modification du nom des champs de BriseMontanteOk (x_ ; y_ ; etc. / les x sont déplacer à la fin afin que ce champ se trouve juste avant le champ des y).

Dans ArcGIS (suite modèle « ModelDonneesMeteorologie ») :

- ajout des champs suivants (double), x, y, z, u, v, w, que l'on calcule ($x=x_-, y=y_-, z=z_-, u=u_-, v=v_-, w=w_-$). Cela permet d'avoir des données numériques et plus des données texte - (7)
- suppression des champs devenus inutiles ($x_-, y_-, z_-, u_-, v_-, w_-$) - (8)
- création d'une layer avec les coordonnées x et y (« Make xy Event Layer ») – (9)
- exportation de cette layer dans la base de données BD_BriseMontante – on obtient BriseMontanteOkOk (10)
- conservation uniquement des enregistrements qui ont des valeurs u, v et w non nulles (ces valeurs sont nulles au niveau du sol) – (11 et plus) :
« Make feature layer »: $[u] > 0 \text{ AND } [v] > 0 \text{ and } [w] > 0$
« Copy feature »: BriseMontanteOkOkOk sous BD_BriseMontante
Il reste 482884 points sur 512996.
- exportation de cette feature class vers un shapefile – on obtient BriseMontante.shp sous ALPSIG_ws\Matlab\Donnees_Meteorologie\BriseMontante (12)
- attribution de l'altitude à l'ensemble des points du fichier BriseMontante.shp à partir du MNA 25 (Swisstopo) : « Extract values to points » (le champ RASTERVALUE = altitude en mètres) – durée 10 minutes environ – on obtient BriseMontante2.shp (sous ALPSIG_ws\Matlab\Donnees_Meteorologie\BriseMontante)- (13)
- calcul de la différence d'altitude entre la valeur de z (fichier .ven) et RASTERVALUE (MNA 25) – ajout du champ « DiffAlt » et calcul de sa valeur : $[z] - [\text{RASTERVALUE}]$ – (14 et plus)
- uniquement les enregistrements où $[\text{RASTERVALUE}] > 0$ sont conservés: « Make feature layer » et « Copy feature » (si $[\text{RASTERVALUE}] = -9999$ cela correspond à des valeurs situées hors du champ du MNA25 donc hors de Suisse) – on obtient BriseMontante3.shp - (15)

Sélection des enregistrements correspondants aux mesures effectuées juste au-dessus du sol

Parmi ces données, il est nécessaire de sélectionner uniquement les valeurs qui correspondent aux points de mesure situés juste en-dessus du sol. Ainsi, les données mesurées au sol et dont les valeurs de u, v et w sont nulles sont supprimées. Les données correspondant aux mesures effectuées en altitude sont également supprimées. Pour cela :

Dans ArcMap:

- Par sécurité, une copie de BriseMontante3.shp est faite: BriseMontante3Copy.shp
- « Selection by attributes » : $\text{DiffAlt} \leq 50 \text{ AND } \text{DiffAlt} \geq -50$
- Data, export data (selected features), BriseMontanteSel1 sous ALPSIG_ws\Matlab\Donnees_Meteorologie\BriseMontante
- « Editor », « start editing », delete selectionned features from BriseMontante3
- zone tampon (buffer) à partir de BriseMontanteSel1 (1000 mètres): BriseMontanteSel1_Buffer (sous ALPSIG_ws\Matlab\Donnees_Meteorologie\BriseMontante)
- « Select by location » : BriseMontante3, are contained by, BriseMontanteSel1_Buffer
- Delete selectionned features from BriseMontante3
- « Editor », « stop editing », « save edit »
- Ce processus est refait depuis « Selection by attributes » avec les cas suivants:

$\text{DiffAlt} \leq 80 \text{ AND } \text{DiffAlt} \geq -80$	BriseMontanteSel2
$\text{DiffAlt} \leq 100 \text{ AND } \text{DiffAlt} \geq -100$	BriseMontanteSel3
$\text{DiffAlt} \leq 120 \text{ AND } \text{DiffAlt} \geq -120$	BriseMontanteSel4
$\text{DiffAlt} \leq 180 \text{ AND } \text{DiffAlt} \geq -180$	BriseMontanteSel5
$\text{DiffAlt} \leq 220 \text{ AND } \text{DiffAlt} \geq -220$	BriseMontanteSel6
$\text{DiffAlt} \leq 260 \text{ AND } \text{DiffAlt} \geq -260$	BriseMontanteSel7
$\text{DiffAlt} \leq 300 \text{ AND } \text{DiffAlt} \geq -300$	BriseMontanteSel8
$\text{DiffAlt} \leq 340 \text{ AND } \text{DiffAlt} \geq -340$	BriseMontanteSel9
$\text{DiffAlt} \leq 380 \text{ AND } \text{DiffAlt} \geq -380$	BriseMontanteSel10
$\text{DiffAlt} \leq 450 \text{ AND } \text{DiffAlt} \geq -450$	BriseMontanteSel11
$\text{DiffAlt} \leq 500 \text{ AND } \text{DiffAlt} \geq -500$	BriseMontanteSel12
$\text{DiffAlt} \leq 550 \text{ AND } \text{DiffAlt} \geq -550$	BriseMontanteSel13
$\text{DiffAlt} \leq 600 \text{ AND } \text{DiffAlt} \geq -600$	BriseMontanteSel14
$\text{DiffAlt} \leq 650 \text{ AND } \text{DiffAlt} \geq -650$	BriseMontanteSel15
$\text{DiffAlt} \leq 700 \text{ AND } \text{DiffAlt} \geq -700$	BriseMontanteSel16
$\text{DiffAlt} \leq 750 \text{ AND } \text{DiffAlt} \geq -750$	BriseMontanteSel17
$\text{DiffAlt} \leq 800 \text{ AND } \text{DiffAlt} \geq -800$	BriseMontanteSel18
$\text{DiffAlt} \leq 850 \text{ AND } \text{DiffAlt} \geq -850$	BriseMontanteSel19
$\text{DiffAlt} \leq 900 \text{ AND } \text{DiffAlt} \geq -900$	BriseMontanteSel20
$\text{DiffAlt} \leq 1000 \text{ AND } \text{DiffAlt} \geq -1000$	BriseMontanteSel21
- Il reste quelques points dont la différence d'altitude avec le MNA 25 est considérée comme trop importante et ne sont donc pas pris en compte.
- Assemblage de BriseMontanteSel1 et de BriseMontanteSel21 (« Merge ») – on obtient BriseMontante4.shp

La méthode utilisée pour sélectionner les points « utiles » est à l'origine d'imprécisions. Ces imprécisions pourraient être évitées facilement grâce à l'obtention d'un fichier contenant uniquement les points représentant les mesures effectuées juste au-dessus du niveau du sol.

Transformation des données ponctuelles (BriseMontante4.shp) en données en « raster » :

- « Feature to raster » (2000 mètres) pour u et v
- on obtient :

brisem_u
brisem_v

Vent Nord Est :

Copie du fichier d'origine 065_v07.VIM qui est nommé Vent_NordEst.vim sous C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\Matlab\Donnees_Meteorologie\Vent_NordEst

Transformation de l'extension .vim en .txt

Ouverture du fichier Vent_NordEst.txt dans WinEdt.

- Copie des lignes correspondant aux noms des colonnes et sauvegarde de ces lignes sous un nouveau fichier : NomsColonnes_NordEst.txt
- Suppression des noms des colonnes puis enregistrement des modifications

Un problème est rencontré lors de l'importation du fichier dans une base de données Access. Pour cela :

- importation du fichier Vent_NordEst.txt sous BD_Vent_NordEst.mdb (champs délimités par tab ; données dans un seul champ)
- On obtient : Vent_NordEst
- tri des données selon le champ1 : tri décroissant
- suppression des enregistrements qui ne correspondent pas à la première ligne dans le fichier texte (.txt) et qui ne contiennent donc pas les valeurs de u et de v.
- Il reste 512997 enregistrements sur 1538988.
- tri des données selon le champ « Numero » (identifiant)
- 6 requêtes sont effectuées :

Requête1 : Numero <= 25
Requête2 : Numero > 25 et <=295
Requête3 : Numero > 295 et <=2995
Requête4 : Numero > 2995 et <=29995
Requête5 : Numero > 29995 et <=299995
Requête6 : Numero > 299995

- exportation des requêtes (longueur fixe) en fichier texte (.txt)
- réimportation des requêtes afin d'avoir des tables (longueur fixe / type de données : text)
- On obtient: Requete1Ok, Requete2Ok, Requete3Ok, Requete4Ok, Requete5Ok, Requete6Ok

Dans ArcGIS (ModelDonneesMeteorologiques):

Pour chaque requête :

- ajout des champs suivants (double), x, y, z, u, v, w, qui sont calculés (x=champ3, y=champ4, z=champ5, u=champ7, v=champ8, w=champ9). Cela permet d'avoir des données numériques et plus des données texte.
- suppression des champs devenus inutiles (champ3, etc.)
- assemblage des différentes requêtes sous Vent_NordEstOk (« Merge »)
- exportation de cette « feature class » en format shapefile (.shp)

Dans ArcMap :

- « start editing »
- « select by attributes » : Vent_NordEstOk
 - u=0 and v=0 and w=0
 - suppression des champs sélectionnés
- « stop editing » (save edit)
- « select by location » : Vent_NordEstOk
 - are contained by
 - BriseMontante4
 - « data », « export data » (features selected) : VentNordEst_OkOk.shp
- sélection manuelle de quelques points manquants
(C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\Matlab\Donnees_Meteorologie\Vent_NordEst\PointsAjoutes) qui sont
assemblés avec la couche VentNordEst_OkOk.shp, on obtient VentNordEst_OkOkOk.shp

Transformation des données ponctuelles (VentNordEst_OkOkOk.shp) en données « raster » :

- « Feature to raster » (2000 mètres) pour u et v
- on obtient :

nordest_u
nordest_v

Vent Ouest (Nord Ouest):

Même chose que pour vent Nord Est...

Sauf pour le « select by location » : Vent_OuestOk.shp
« are contained by »
VentNordEst_OkOkOk.shp

Et pas de sélection manuelle de quelques points.

On obtient : VentNordOuest_OkOkOk
ouest_u
ouest_v

Vent Sud Ouest :

Même chose que pour vent Nord Est...

Sauf pour le « select by location » : Vent_SudOuestOk.shp
« are contained by »
VentNordEst_OkOkOk.shp

Et pas de sélection manuelle de quelques points.

On obtient : VentSudOuest_OkOkOk
sudouest_u
sudouest_v

Vérification des vitesses moyennes de vent issues du modèle :

Dans ArcGIS :

Modèle : cf. Model_Verification_Vents

- exportation de RouteBruitAir_NE_Ok, RouteBruitAir_O_Ok, RouteBruitAir_SO_Ok, vers un shapefile (.shp) sous C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\Matlab\Donnees_Meteorologie\Verification_Valeur_Vents
- ajout d'un champ : vmv (double)
- calcul de la valeur du champ : $vmv = \sqrt{v^2 + u^2}$

Introduction d'une constante :

Compte tenu des résultats obtenus, une constante est introduite dans le code (Matlab) afin d'adapter les données à une situation de vent moyenne et non extrême en ce qui concerne les situations de vent nord est (*0.4)⁴⁴, de vent ouest (*0.35) et de vent sud ouest (*0.35). Les valeurs de u et de v sont ainsi diminuées.

⁴⁴ ex : $6 * 0.4 = 2.4$

Annexe 22 : Calcul des immissions routières (sonores et atmosphériques) et ferroviaires (sonores)

Exécution du code dans Matlab :

Les types de fichiers :

Un fichier .mat contient des données (extent.mat = les résultats du calcul)

Un fichier .m est un fichier Matlab (ex. : code)

Un fichier .asv est provisoire et peut être supprimé

Données utilisées :

On utilise les données suivantes :

```
Rail_Bruit_ScBase.txt Rail_Bruit_Sc1.txt
Route_BruitAir_BriseM_UV_ScBase.txt ..._Sc1.txt
Route_BruitAir_BriseD_UV.txt ..._Sc1.txt
Route_BruitAir_Ouest_UV.txt ..._Sc1.txt
Route_BruitAir_NE_UV.txt ..._Sc1.txt
Route_BruitAir_SO_UV.txt ..._Sc1.txt
```

Se trouvant sous:

C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\Matlab\DonneesTxt_ScenarioDeBase (DonneesTxt_Scenario1; etc.)

Load :

Avant de charger une table, il est nécessaire de supprimer le champ des colonnes (noms).

Il est également nécessaire de vérifier le nombre de colonne à supprimer lorsque l'on charge la table dans Matlab. On met autant de Rail(:,1) =[] que du nombre de colonne que l'on souhaite supprimer (ici 3).

Il est nécessaire de modifier le nom de la table que l'on charge, nom qui est différent pour la route et qui dépend de la situation météorologique traitée.

Dans le code il est possible de modifier les constantes : R, Llimit, VL et encore m-1

On a choisi :

```
R = 25
Llimit = 40
VL = 40
m-1 (parcourt l'ensemble de la table)
```

Modification du numéro de colonne et des formules dans le code :

Cf. feuille (imprimer la table depuis Access afin d'identifier les colonnes dont on n'a besoin pour le calcul :

```
Bruit rail : Krail, Lrail
Bruit route : Kroute, Lroute
Air route : Iroute, v, u, , a, b, 16 (jour), 8 (nuit) (16 et 8 pour calcul Iroute)
```

Ex. :

```
Rail (i, 1) : colonne des x
Rail (i, 2) : colonne des y
Rail (i, 3) : colonne des émissions AALeqJ
Rail (i, 4) : colonne des AAKJ
```

Dossiers contenant le code pour chacun des calculs :

Sous C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\Matlab

On a : Le bon code originel sous Matlab_Bruno (extend_bruit_rail_O_bm)

```
Code_Rail_Bruit
Code_Route_Bruit
Code_Route_Air
```

Contenant à chaque fois un dossier avec le code correspondant (formule et numéro de colonne) pour le calcul des différentes immissions :

```
Rail_Matlab_AALeqJ, etc.
Route_Matlab_AALeqJ, etc.
```

Exécution du code pour chacune des immissions sur chacun des PC (ex.):

```
Mcssrv1 : AALeqJ
Liteppc6 : AALeqN
Iteppc56 : aLeqJ
Iteppc70 : aLeqN
```

Les différentes étapes à effectuer :

Dans Matlab, aller chercher le dossier contenant le code et le fichier des données ponctuelles .txt (Rail_Bruit.txt / Route_BruitAir.txt) dans la fenêtre « Current Directory ».

Double cliquer sur le fichier load (load_rail.m / load_route.m) ; debug ; run (le fichier doit être enregistré si modification pour que le run soit disponible). Matlab indique « Busy » lorsqu'il charge la table.

Une fois la table chargée on obtient le fichier .mat (rail.mat / route.mat).

Double cliquer sur le fichier extend_bruit_rail_BM.m / extend_bruit_route_BM.m; debug ; run. Un compteur affiche la progression du calcul dans la fenêtre « Command Windows ».

- 1) load_rail.m / load_route (qui donne)
- 2) rail.mat / route.mat (on parcourt le réseau en parcourant le code)
- 3) extend_bruit_rail_BM.m / extend_bruit_route_BM.m (= code / ce qui donne)
- 4) extend.mat (= fichier résultat)
- 5) save.txt (afin d'obtenir un fichier.txt)

Dossiers contenant les résultats pour chacun des calculs :

Sous C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\Matlab

On a : Resultats_Rail
 Resultats_Route_Bruit
 Resultats_Route_Air
 Contenant à chaque fois un dossier avec le code correspondant (formule et numéro de colonne) pour le calcul des différentes immissions :
 Rail_Matlab_AALeqJ, etc.
 Route_Matlab_AALeqJ, etc.
 Route_Matlab_AAHCI, etc.
 Route_Matlab_aHCI, etc.
 Le fichier extend_bruit.txt ou extend_air.txt contient les résultats.
Pour le bruit : Ces fichiers ont 4 colonnes : x ; y ; Lextend (immissions en dB = Lr) ; Pextend (immissions en Pa)
Pour l'air : Ces fichiers ont 3 colonnes : x ; y ; Lextend (immissions = $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

L'algorithme (ex. : immissions sonores du trafic ferroviaire) :

```
clear all

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% A partir d'une liste de points d'un réseau, et de valeurs d'émissions
% de ce réseau, ce code extrapole ces émissions selon une loi
% d'atténuation perpendiculairement aux tronçons.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% constantes %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
R=25;                %buffer [m] d'interpolation aux tronçons
Llimit=40;           %intensité limite [dB] d'interpolation d'émission
Pref=0.00002;        %Pression acoustique de référence [Pa]
DL=40;               %distance limite [m] entre 2 points consécutifs
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% variables %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
i=0;                 %compteur des enregistrements en entrée
j=0;                 %compteur des enregistrements en sortie
compteur=0;          %compteur affiché pendant l'exécution
D=double(0);         %distance plane [m]
Dx=double(0);        %distance horizontale [m]
Dy=double(0);        %distance verticale [m]
alpha=double(0);     %angle [radians]
flagInterpol=true;   %flag pour la création des points d'interpolation
cptInterpol=uint64(0); %compteur des points interpolés
XMilieu=double(0);   %abscisse point milieu tronçon
YMilieu=double(0);   %ordonnée point milieu tronçon
atroncon=double(0);  %paramètre a équation du tronçon (y = atroncon * x + btroncon)
btroncon=double(0);  %paramètre b équation du tronçon (y = atroncon * x + btroncon)
aperp=double(0);     %paramètre a équation de la perpendiculaire au tronçon (y = aperp
* x + bperp)
bperp=double(0);     %paramètre b équation de la perpendiculaire au tronçon (y = aperp
* x + bperp)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% on parcourt le réseau %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

load rail
[m,n]=size(Rail);

for i=1:m-1          %m-1 peut être modifié pour tests de charge
    compteur=i
    Dx=Rail(i+1,9)-Rail(i,9);
    Dy=Rail(i+1,10)-Rail(i,10);
    D=sqrt((Dx*Dx)+(Dy*Dy));
    % calcul des paramètres des droites (perpendiculaire; tronçon)
    if (D<DL) %longueur limite de tronçon
        XMilieu=(Rail(i,9)+Rail(i+1,9))/2;
        YMilieu=(Rail(i,10)+Rail(i+1,10))/2;
        if (Dx==0)
            alpha=pi/2; %réseau vertical
            aperp=0;
        else
            alpha=atan(Dy/Dx); %réseau autre que vertical
            atroncon=Dy/Dx;
            btroncon=Rail(i,10)-atroncon*Rail(i,9);
            aperp=-1/atroncon;
        end
        bperp=YMilieu-aperp*XMilieu;
        Krail=max(Rail(i,2),Rail(i+1,2));
        Lrail=max(Rail(i,1),Rail(i+1,1));
        Prail=Pref*10^(Lrail/20);
        j=j+1;
        Extend(j,1)=XMilieu;
        Extend(j,2)=YMilieu;
```

```

Extend(j,3)=Lrail+Krail;

%interpolation des points du buffer
flagInterpol=true;
cptInterpol=1;
while flagInterpol==true
    Xplus=XMilieu+abs(sin(alpha))*R*cptInterpol;
    Yplus=aperp*Xplus+bperp;
    Xmoins=XMilieu-abs(sin(alpha))*R*cptInterpol;
    Ymoins=aperp*Xmoins+bperp;
    % Formules d'atténuation :
    Lextend=Lrail-10*log(cptInterpol*R)-0.007*cptInterpol*R+((30/1.5)*(1-exp(-
cptInterpol*R/300)))+Krail;
    if (Lextend>0)
        Pextend=Pref*10^(Lextend/20);
    else
        Lextend=0;
        Pextend=0;
    end
    if (Lextend<Llimit)
        flagInterpol=false;
    else
        cptInterpol=cptInterpol+1;
        j=j+1;
        Extend(j,1)=Xplus;
        Extend(j,2)=Yplus;
        Extend(j,3)=Lextend;
        j=j+1;
        Extend(j,1)=Xmoins;
        Extend(j,2)=Ymoins;
        Extend(j,3)=Lextend;
    end
end
end
end

save('extend', '-double', 'Extend')

clear all

```

L'algorithme (ex. : immissions atmosphériques du trafic routier) :

```

clear all

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% A partir d'une liste de points d'un réseau, et de valeurs d'émissions
% de ce réseau, ce code extrapole ces émissions selon une loi
% d'atténuation perpendiculairement aux tronçons.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% constantes %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
R=25;           %buffer [m] d'interpolation aux tronçons
a=0.11;         %coefficient de dispersion a (SPA 1979)
b=0.74;         %coefficient de dispersion b (SPA 1979)
Llimit=5;       %intensité limite [µg/m3] d'interpolation d'émission
DL=40;          %distance limite [m] entre 2 points consécutifs
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% variables %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
i=0;            %compteur des enregistrements en entrée
j=0;            %compteur des enregistrements en sortie
compteur=0;     %compteur affiché pendant l'exécution
D=double(0);   %distance plane [m]
Dx=double(0);  %distance horizontale [m]
Dy=double(0);  %distance verticale [m]
alpha=double(0); %angle alpha [radians]
beta=double(0); %angle beta [radians]
u=double(0);   %vitesse moyenne du vent selon l'axe des x [m/s]
v=double(0);   %vitesse moyenne du vent selon l'axe des y [m/s]
flagInterpol=true; %flag pour la création des points d'interpolation
cptInterpol=uint64(0); %compteur des points interpolés
XMilieu=double(0); %abscisse point milieu tronçon
YMilieu=double(0); %ordonnée point milieu tronçon
sinPhi=double(0); %sinus de l'angle entre la direction du vent et l'axe de la route
atroncon=double(0); %paramètre a équation du tronçon (y = atroncon * x + btroncon)
btroncon=double(0); %paramètre b équation du tronçon (y = atroncon * x + btroncon)
aperp=double(0); %paramètre a équation de la perpendiculaire au tronçon (y = aperp
* x + bperp)

```



```

bperp=double(0); %paramètre b équation de la perpendiculaire au tronçon (y = aperp
* x + bperp)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% on parcourt le réseau %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

load route
[m,n]=size(Route);

for i=1:m-1 %m-1 peut être modifié pour tests de charge
    compteur=i
    Dx=Route(i+1,35)-Route(i,35);
    Dy=Route(i+1,36)-Route(i,36);
    D=sqrt((Dx*Dx)+(Dy*Dy));
    % calcul des paramètres des droites (perpendiculaire; tronçon)
    if (D<DL) %longueur limite de tronçon
        XMilieu=(Route(i,35)+Route(i+1,35))/2;
        YMilieu=(Route(i,36)+Route(i+1,36))/2;
        if (Dx==0)
            alpha=pi/2; %route verticale
            aperp=0;
        else
            alpha=atan(Dy/Dx); %réseau autre que vertical
            atroncon=Dy/Dx;
            btroncon=Route(i,36)-atroncon*Route(i,35);
            aperp=-1/atroncon;
        end
        beta=pi/2-alpha;
        bperp=YMilieu-aperp*XMilieu;
        Iroute=(max(Route(i,27),Route(i+1,27)))*10^6/1000/(264*16*3600); % passage d'émission
    en g/km/an en µg/m/s
        j=j+1;
        Extend(j,1)=XMilieu;
        Extend(j,2)=YMilieu;
        u=(Route(i,33)+Route(i+1,33))/2*0.4;
        v=(Route(i,34)+Route(i+1,34))/2*0.4;
        vmv = sqrt(v^2+u^2); % vitesse moyenne du vent selon la
    direction "réelle" du vent [m/s]
        sinPhi=(v*cos(alpha)+u*cos(beta))/vmv; % calcul du sinus de l'angle Phi
        if (sinPhi>0 && sinPhi<0.1)
            sinPhi=0.1
        end
        if (sinPhi<0 && sinPhi>-0.1)
            sinPhi=-0.1
        end
        % Calcul des immissions au niveau de la route:
        OzRte=a*(10^b);
        Extend(j,3)=abs(sqrt(2/pi)*(Iroute/(OzRte*vmv*sinPhi))*exp(-0.5*(0.45^2/OzRte^2)));
        %interpolation des points du buffer
        flagInterpol=true;
        cptInterpol=1;
        while flagInterpol==true
            Xplus=XMilieu+abs(sin(alpha))*R*cptInterpol;
            Yplus=aperp*Xplus+bperp;
            Xmoins=XMilieu-abs(sin(alpha))*R*cptInterpol;
            Ymoins=aperp*Xmoins+bperp;
            Oz=a*(R*cptInterpol)^b; % coefficient de dispersion en fonction des
    classes de dispersion
            Iextend=abs(sqrt(2/pi)*(Iroute/(Oz*vmv*sinPhi))*exp(-0.5*(0.45^2/Oz^2)));
            if (Iextend<Llimit)
                flagInterpol=false;
            else
                cptInterpol=cptInterpol+1;
                j=j+1;
                Extend(j,1)=Xplus;
                Extend(j,2)=Yplus;
                Extend(j+1,1)=Xmoins;
                Extend(j+1,2)=Ymoins;
                if (sinPhi>0)
                    if (Yplus<YMilieu)
                        Extend(j,3)=Iextend;
                        Extend(j+1,3)=0;
                    else
                        Extend(j,3)=0;
                        Extend(j+1,3)=Iextend;
                    end
                else
                    if (Yplus>YMilieu)
                        Extend(j,3)=Iextend;

```

```
        Extend(j+1,3)=0;
    else
        Extend(j,3)=0;
        Extend(j+1,3)=Iextend;
    end
end
    end
    j=j+1;
end
end
end
    end
end
    save('extend', '-double', 'Extend')

clear all
```


Annexe 23 : Traitement des données issues de l'algorithme exécuté dans Matlab

Importation dans Access des données obtenues avec le code exécuté dans Matlab:

Une fois que les résultats obtenus (extend_bruit1.txt et extend_bruit2.txt (rail / route) ou extend_air1.txt et extend_air2.txt (route)) pour les différents immissions et scénarios (ScBase, Sc1), ces données sont importées dans une base de données Access correspondant au mode et au scénario :

```
THESE_SIG\ALPSIG_ws\Matlab\Resultats_ScenarioDeBase\Resultats_Rail_Bruit_ScBase.mdb
Resultats_Route_Bruit_ScBase.mdb
Resultats_Route_Air_ScBase.mdb (données diurnes)
Resultats_Route_Air_ScBase_3.mdb (données nocturnes)
THESE_SIG\ALPSIG_ws\Matlab\Resultats_Scenario1\Resultats_Rail_Bruit_Sc1.mdb
Resultats_Route_Bruit_Sc1.mdb
Resultats_Route_Air_Sc1.mdb (données diurnes)
Resultats_Route_Air_Sc1_3.mdb (données nocturnes)
```

Choisir : longueur fixe...

Et mettre les noms de champs (aller dans « avancé ») :

```
ex. Rail : X(champ1), Y(champ2), AALrJ(champ3), AAKJ(champ4)
ex. Route : X(champ1), Y(champ2), AALrJ(champ3), AAKJ(champ4)
```

Ainsi, pour chaque scénario on obtient les tables suivantes:

Pour le rail:

- Rail_Bruit_AALrJ1 Rail_Bruit_AALrJ2
- Rail_Bruit_AALrN1 Rail_Bruit_AALrN2
- Rail_Bruit_aLrJ1 Rail_Bruit_aLrJ2
- Rail_Bruit_aLrN1 Rail_Bruit_aLrN2

Et, pour la route:

- Route_Bruit_AALrJ1 Route_Bruit_AALrJ2
- Route_Bruit_AALrN1 Route_Bruit_AALrN2
- Route_Bruit_aLrJ1 Route_Bruit_aLrJ2
- Route_Bruit_aLrN1 Route_Bruit_aLrN2
- Route_AirNE_AAPMJ1 Route_AirNE_AAPMJ2
- Route_AirNE_aPMJ1 Route_AirNE_aPMJ2
- Route_AirSO_AAPMJ1 Route_AirSO_AAPMJ2
- Route_AirSO_aPMJ1 Route_AirSO_aPMJ2
- Route_AirO_AAPMJ1 Route_AirO_AAPMJ2
- Route_AirO_aPMJ1 Route_AirO_aPMJ2
- Même chose pour les données nocturnes :
- Route_AirNE_AAPMN1 Route_AirNE_AAPMN2
- Etc.

Traitement des données extend.mat :

Cf. modèles : ModelALPSIG_ImmissionsRailRoute_ScBase_1, ModelALPSIG_ImmissionsRailRoute_Sc1_1, etc.

Création de buffers à partir des données ponctuelles PopImmissions_ScBase (1 et plus) :

- Copie des données ponctuelles Pop2000_Events qui se trouvent sous ALPSIG_ws_raster\Donnees_RASTER
On obtient : PopImmissions_ScBase sous THESE_SIG\ALPSIG_ws_raster\Immissions_RailRoute\ScenarioDeBase
THESE_SIG\ALPSIG_ws_raster\Immissions_RailRoute\Scenario1
- Suppression des champs qui sont devenus inutiles (uniquement les champs Numéro, x, y, POOBTOT (population totale) sont conservés)
- Un buffer de 50 mètres (raster d'une résolution de 100 mètres) est créé autour de ces points.
On obtient : PopImmissions_ScBase_Buffer

Remarques :

La taille du buffer et la résolution des résultats dépend de la résolution des données relatives aux récepteurs. Il n'est pas nécessaire d'avoir une résolution plus précise pour les immissions si il n'est pas possible de connaître de manière aussi précise la localisation des récepteurs (résolution de 100 mètres pour la population).

Il aurait été intéressant d'utiliser les données ponctuelles MaxChGrid (cf. Model_TraitementDonneesMaxChGrid) afin d'obtenir des valeurs d'immissions pour l'ensemble de la Suisse et pas uniquement où se trouvent la population. Cette solution n'a pas été choisie compte tenu de la longueur du traitement des données.

Création de « features classes » à partir des coordonnées x et y et fusion des données (bruit rail : 2-9 et plus / bruit route : 10- 17 / air route : non numéroté):

Transformation des tables en layer à partir des coordonnées (« Make xy Event Layer »)

Création de features classes (« copy features ») qui sont exportées dans la même base de données (Resultats_Rail_Bruit_Scbase ou Sc1 ; Resultats_Route_Bruit_Scbase ou Sc1 ; Resultats_Route_Air_Scbase ou Sc1 ; Resultats_Route_Air_Scbase_2 ou Sc1_2 ; Resultats_Route_Air_Scbase_3 ou Sc1_3 ; Resultats_Route_Air_Scbase_4 ou Sc1_4) sous Matlab\Resultats_ScenarioDeBase ou Resultats_Scenario1.

On obtient les tables suivantes :

Pour le rail:

- Rail_Bruit_AALrJ1Ok Rail_Bruit_AALrJ2Ok

- Rail_Bruit_AALrN1Ok Rail_Bruit_AALrN2Ok
- Rail_Bruit_aLrJ1Ok Rail_Bruit_aLrJ2Ok
- Rail_Bruit_aLrN1Ok Rail_Bruit_aLrN2Ok

Et, pour la route:

- Route_Bruit_AALrJ1Ok Route_Bruit_AALrJ2Ok
- Route_Bruit_AALrN1Ok Route_Bruit_AALrN2Ok
- Route_Bruit_aLrJ1OkRoute_Bruit_aLrJ2Ok
- Route_Bruit_aLrN1Ok Route_Bruit_aLrN2Ok
- Route_AirNE_AAPMJ1Ok Route_AirNE_AAPMJ2Ok
- Route_AirNE_aPMJ1Ok Route_AirNE_aPMJ2Ok
- Route_AirSO_AAPMJ1Ok Route_AirSO_AAPMJ2Ok
- Route_AirSO_aPMJ1Ok Route_AirSO_aPMJ2Ok
- Route_AirO_AAPMJ1Ok Route_AirO_AAPMJ2Ok
- Route_AirO_aPMJ1Ok Route_AirO_aPMJ2Ok
- Même chose pour les données nocturnes :
- Route_AirNE_AAPMN1Ok Route_AirNE_AAPMN2Ok
- Etc.

Fusion des tables correspondant aux mêmes immissions:

Fusion des tables correspondant aux mêmes immissions (« Merge »).

Vérifier les « Field map ».

Sous ALPSIG ws_raster\Immissions_RailRoute\ScenarioDeBase ou \Scenario1, on obtient :

- Rail_Bruit_AALrJ.shp (=Rail_Bruit_AALr1Nok + Rail_Bruit_AALr2Nok)
- Rail_Bruit_AALrN.shp
- Rail_Bruit_aLrJ.shp
- Rail_Bruit_aLrN.shp
- Route_Bruit_AALrJ.shp
- Route_Bruit_AALrN.shp
- Route_Bruit_aLrJ.shp
- Route_Bruit_aLrN.shp
- Route_AirNE_AAPMJ.shp
- Route_AirNE_aPMJ.shp
- Route_AirSO_AAPMJ.shp
- Route_AirSO_aPMJ.shp
- Route_AirO_AAPMJ.shp
- Route_AirO_aPMJ.shp
- Même chose pour les données nocturnes :
- Route_AirNE_AAPMN.shp
- Etc.

STOP Modèle – hors modèle :

A faire pour chaque émission (4 fois pour le rail et 10 fois pour la route pour chaque scénario):

- Sous ArcMap, les couches suivantes sont importées:
 - PopImmissions_ScBase_Buffer (ALPSIG_ws_raster\Immissions_RailRoute\ScenarioDeBase ou \Scenario1)
 - Rail_Bruit_AALrJ, etc.
 (ALPSIG_ws_raster\Immissions_RailRoute\ScenarioDeBase ou \Scenario1)
 (Rail_Bruit_AALrN, Rail_Bruit_aLrJ, Rail_Bruit_aLrN, Route_Bruit_AALrJ, Route_Bruit_AALrN, Route_Bruit_aLrJ, Route_Bruit_aLrN, Route_AirBM_AAHcj, Route_AirBM_AAHcn, Route_AirBM_aHCj, Route_AirBM_aHCn)
- Depuis PopImmissions_ScBase_Buffer (PopBruit_ScBase_Buffer1, etc. / PopBruitAir_ScBase_Buffer1, etc.), une jointure spatiale (spatial join) est faite avec Rail_Bruit_AALrJ : « Each polygon will be given a summary of the numeric attributes of the points that fall inside it » (Maximum).

Durée: environ 4 heures pour le rail / 11 heures pour la route (environ)

On obtient: PopBruit_ScBase_Buffer1 / PopAir_ScBase_Buffer1 sous

C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws_raster\Immissions_RailRoute\ScenarioDeBase
- Ajout d'un champ (« Add field ») : Rail_AALrJ, Rte_AALrJ, RteBMAAPMJ, RteNEAAPMJ, etc. (double)
- Calcul de la valeur du champ: Rail_AALrJ = [Max_AALrJ] (« Calculate field »)
- Suppression des champs inutiles (FID, Count, Max_X, Max_Y, Max_AALrJ) (« Delete field »)
- On recommence avec PopBruit_ScBase_Buffer1, etc. / PopBruitAir_ScBase_Buffer1, etc.

Si Arcmap se ferme avant d'avoir terminé le « Spatial join » :

Reporter le traitement de ces données à la fin.

Ex. : pour les données de la pollution de l'air du trafic routier du scénario de base

- Sous ArcMap, sont importés:
 - PopBruitAir_ScBase_Buffer10
 - Route_AirSO_AAPMN, Route_AirSO_aPMN (ensemble des couches problématiques)
- Sélection de la moitié des données de ces différentes couches
- Exporter (« data », « export data », selected features) les différentes sélections :

On obtient :

PopBruitAir_ScBase_Buffer10_1

Route_AirSO_AAPMN_1

Route_AirSO_aPMN_1
- Inverser la sélection (« Switch selection ») et exporter (« data », « export data », selected features) les différentes sélections:

On obtient :

PopBruitAir_ScBase_Buffer10_2

Route_AirSO_AAPMN_2

Route_AirSO_aPMN_2

- Transformation des données de pollution ponctuelles en buffer ("buffer" – 1 cm)
On obtient :
Route_AirSO_AAPMN_1_Buffer
Route_AirSO_AAPMN_2_Buffer
Route_AirSO_aPMN_1_Buffer
Route_AirSO_aPMN_2_Buffer
- Une jointure spatiale (spatial join) est faite avec:
PopBruitAir_ScBase_Buffer10_1 et Route_AirSO_AAPMN_1_Buffer
PopBruitAir_ScBase_Buffer10_2 et Route_AirSO_AAPMN_2_Buffer
On obtient :
PopBruitAir_ScBase_Buffer11_1
PopBruitAir_ScBase_Buffer11_2
A ces tables, un champ est ajouté (RteSOAAPMN) et calculé (= MaxAAPMN).
Les champs devenus inutiles (FID, Count, Max_X, Max_Y, Max_AALrJ) sont supprimés.
- Une jointure spatiale (spatial join) est fait avec:
PopBruitAir_ScBase_Buffer11_1 et Route_AirSO_aPMN_1_Buffer
PopBruitAir_ScBase_Buffer11_2 et Route_AirSO_aPMN_2_Buffer
On obtient :
PopBruitAir_ScBase_Buffer12_1
PopBruitAir_ScBase_Buffer12_2
A ces tables, un champ est ajouté (RteSOaPMN) et calculé (= MaxaPMN).
Les champs devenus inutiles (FID, Count, Max_X, Max_Y, Max_AALrJ) sont supprimés.
- Assemblage des deux couches de résultats (« merge »)
On obtient : PopBruitAir_ScBase_Buffer12 et PopBruitAir_Sc1_Buffer12

RETOUR au Modèle:

Cf. modèles : ModelALPSIG_ImmissionsRailRoute_ScBase_2, ModelALPSIG_ImmissionsRailRoute_Sc1_2, etc.

Copie des résultats (0):

- Copie de la couche PopBruitAir_ScBase_Buffer12.shp et Sc1 (« Feature class to feature class »)
On obtient: PopBruitAir_ScBase_Buffer12Ok.shp, Sc1
Sous : C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws_raster\Immissions_RailRoute\ScenarioDeBase

Mise à zéro de valeurs d'immission sonores (1 – a, b, c, d, e, f, g, h):

Etant donné que la valeur du coefficient K vaut -5 (route) et -15 (rail) lorsque le trafic est inférieur à 31.6 véhicules (THD) et à 7.9 trains, ce coefficient est appliqué lorsque le trafic est nul.

Ainsi, les valeurs d'immission négatives doivent être corrigées en étant mise à zéro.

- Sélection des enregistrements contenant des valeurs négatives
« Make feature layer »: "Rail_aLrN" < 0
- Mise à 0: « calculate field »: Rail_aLrN = 0
- Faire cela pour l'ensemble des champs contenant des valeurs d'immissions sonores.

Association des données des zones tampons aux données ponctuelles (2 et plus) :

- Création d'une layer « Make feature layer » de PopImmissions_ScBaseOk (quelque soit le scénario)
- Ajout d'un lien (« Add join ») avec:
PopImmissions_ScBase_Layer (données ponctuelles)
Numéro
PopBruitAir_ScBase_Buffer12, Sc1
Numéro
L'option « Keep all » est cochée
- Afin d'obtenir une « feature class » on utilise l'outil « Copy feature »
On obtient : PopBruitAir_ScBase.shp
- Afin de changer le nom des colonnes (cf. les tables : PopBruitAir_ScBase et PopImmissions_ScBase / ATTENTION l'ordre des colonnes peut être différent d'un scénario à l'autre / garder POOBTOT de la table PopImmissions), création d'une autre couche (« Feature class to feature class ») et on obtient : PopBruitAir_ScBaseOk1, Sc1
- Suppression des champs devenus inutiles (« Delete field »)

Calcul des immissions sonores totales (rail + route) (3 et plus) :

Addition des immissions sonores induites par le rail et des immissions sonores induites par la route afin d'obtenir les immissions sonores totales.

- Ajout des champs (« Add field » / type : double) suivants:
RR_AALrJ
RR_AALrN
RR_aLrJ
RR_aLrN
- Calcul de la valeur de ces champs (« Calculate field ») en se référant à la formule figurant dans l'annexe 3 de l'OPB (31-principes):
$$Lr_{total} = 10 * \log(10^{0.1 * Lr_{route}} + 10^{0.1 * Lr_{rail}})$$

Dans ArcGIS :
$$10 * (\log(10^{(0.1 * [Rte_AALrJ]) + 10^{(0.1 * [Rail_AALrJ])}}) / \log(10))$$

$$10 * (\log(10^{(0.1 * [Rte_AALrN]) + 10^{(0.1 * [Rail_AALrN])}}) / \log(10))$$

$$10 * (\log(10^{(0.1 * [Rte_aLrJ]) + 10^{(0.1 * [Rail_aLrJ])}}) / \log(10))$$

$$10 * (\log(10^{(0.1 * [Rte_aLrN]) + 10^{(0.1 * [Rail_aLrN])}}) / \log(10))$$

Attribution des données relatives aux zones homogènes (4 et plus) :

- « Extract values to points » avec:
PopBruitAir_ScBase_Buffer12

montagne_r (sous : C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws_raster\Donnees_RASTER)

On obtient : PopBruitAir_ScBaseOk2, Sc1

Renommer le champ: « add field » (montagne_r / type: long), « calculate field » (= [RASTERVALU] , « delete field » ([RASTERVALU])

- « Extract values to points » avec:

PopBruitAir_ScBase_Buffer12

montagne_u (sous : C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws_raster\Donnees_RASTER)

On obtient : PopBruitAir_ScBaseOk3, Sc1

Renommer le champ: « add field » (montagne_u / type: long), « calculate field » (= [RASTERVALU] , « delete field » ([RASTERVALU])

- « Extract values to points » avec:

PopBruitAir_ScBase_Buffer12

plaine_r (sous : C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws_raster\Donnees_RASTER)

On obtient : PopBruitAir_ScBaseOk4, Sc1

Renommer le champ: « add field » (plaine_r / type: long), « calculate field » (= [RASTERVALU] , « delete field » ([RASTERVALU])

- « Extract values to points » avec:

PopBruitAir_ScBase_Buffer12

plaine_u (sous : C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws_raster\Donnees_RASTER)

On obtient : PopBruitAir_ScBaseOk5, Sc1

Renommer le champ: « add field » (plaine_u / type: long), « calculate field » (= [RASTERVALU] , « delete field » ([RASTERVALU])

Si ce champ contient la valeur 1, cela signifie que l'enregistrement correspond aux critères.

- Si la valeur n'est pas égale à 1, la valeur est 0 :

« Make feature class »: montagne_r <> 1

« Calculate field »: montagne_r = 0

« Make feature class »: montagne_u <> 1

« Calculate field »: montagne_u = 0

« Make feature class »: plaine_r <> 1

« Calculate field »: plaine_r = 0

« Make feature class »: plaine_u <> 1

« Calculate field »: plaine_u = 0

Calcul des immissions atmosphériques moyennes compte tenu des différents champs de vent en montagne et en plaine (5 et plus):

- Ajouter les champs suivants (« add field » / type : double) : AAPMJok, AAPMNok, aPMJok, aPMNok
- Sélectionner les enregistrements correspondant à une zone de montagne (« Make feature layer » : "MONTAGNE_R" =1 OR "MONTAGNE_U" =1
- Calculer les immissions compte tenu de la fréquence des différents champs de vent (différentiation entre la plaine et les Alpes) en montagne
Ex. : $([RTENEAPMJ]*0.75) + ([RTEOAPMJ]*0.1) + ([RTSOAPMJ]*0.15)$
- Sélectionner les enregistrements correspondant à une zone de plaine (« Make feature layer » : "PLAINE_R" =1 OR "plaine_u" =1
- Calculer les immissions compte tenu de la fréquence des différents champs de vent (différentiation entre la plaine et les Alpes) en plaine
Ex. : $([RTENEAPMJ]*0.63) + ([RTEOAPMJ]*0.16) + ([RTSOAPMJ]*0.21)$

Calage du modèle des particules avec les immissions de NO_x (6 et plus):

L'évaluation des immissions de particules est particulièrement délicate étant donné que différentes sources sont à l'origine de ces immissions.

En effet, les émissions induites directement par le trafic sont relativement faibles et sont mêlées aux émissions provenant d'autres sources telles que les turbulences ou encore de la transformation chimique d'autres polluants.

Etant donné que les immissions de NO_x (dioxyde d'azote) proviennent quant à elle principalement du trafic routier (mesures plus faciles), il est intéressant de caler le modèle élaboré en considérant les immissions de NO_x.

Pour cela, le rapport entre les coefficients d'émissions des particules et des dioxydes d'azote a été calculé et vaut 30.22⁴⁵. Ainsi, les émissions ou immissions de particules multipliées par ce coefficient donnent les émissions ou immissions de dioxyde d'azote.

- Création d'une nouvelle table (« Feature class to feature class »)
On obtient: CalageModelePMAvecNOx.shp
- Ajout de deux nouveaux champs (« add field » / type : double) : AANoxJ, AANoxN
- Suppression des champs devenus inutiles (« Delete field ») –les champs relatifs aux immissions de NO_x et de PM et relatifs à la montagne ou à la plaine sont conservés.
- Calcul des immissions de NO_x (« Calculate field »):
AANoxJ = [AAPMJok] * 30.22
AANoxN = [AAPMNok] * 30.22
- Analyse des résultats (« Summary statistics ») : MEAN, MAX, MIN pour les immissions de NO_x et de PM
On obtient : CalageModelePMAvecNOx_Stat
- Vérification (zoom sur les données – ArcMap)

Calcul des immissions atmosphériques totales compte tenu de la pollution de fond (7 et plus) :

- Ajouter les champs suivants (« add field » / type : double) : AAPMJTot, AAPMNTot, aPMJTot, aPMNTot
- Sélectionner les enregistrements correspondant à une zone urbaine (« Make feature layer ») : "MONTAGNE_U" =1 OR "plaine_u" =1
- Calculer les immissions totales compte tenu de la pollution de fond en zone urbaine (20 µg)
Ex. : AAPMJTot = [AAPMJok] + 20

⁴⁵ Coefficient moyen pour les différents types de véhicule : particules (0,18) ; NO_x (5,40)- MICET 2.1.

- Sélectionner les enregistrements correspondant à une zone rurale (« Make feature layer ») : "MONTAGNE_R" =1 OR "PLAINE_R" =1
- Calculer les immissions totales compte tenu de la pollution de fond en zone rurale (15 µg)
Ex. : $AAPMJ_{Tot} = [AAPMJok] + 15$

Calcul de la différence d'immissions sonore et atmosphérique entre le trafic total (AA) et le trafic « autre » (a) (8 et plus) :

- Ajouter les champs suivants (« add field » / type : double) : DiffRRLrJ, DiffRRLrN, DiffPMJTot, DiffPMNTot
- Calculer la différence d'immissions entre le trafic total et le trafic « autre »
Ex. : $DiffRRLrJ = [RR_AALrJ] - [RR_ALrJ]$
 $DiffPMJTot = [AAPMJTot] - [aPMJTot]$

Contribution des différents champs de vent (NE, O, SO) dans la pollution atmosphérique (9 et plus) :

- Ajouter les champs suivants (« add field » / type : double) : C_NEJ, C_SOJ, C_OJ, C_NEN, C_SON, C_ON, C_NE, C_SO, C_O
- (a) Sélectionner les enregistrements correspondant à une zone de montagne et dont la valeur de AAPMJok est supérieure à 0 (« Make feature layer ») :
("MONTAGNE_R" =1 OR "MONTAGNE_U" =1) AND "AAPMJok" >0
- Calculer la contribution (en %) des différents champs de vent dans les immissions totales, pour le jour :
Ex. : $(([RTENEAAPMJ]*0.75)*100)/[AAPMJok]$
- (b) Faire la même chose pour la nuit
- (b) Calculer également les contributions moyennes (jour / nuit) en montagne : $([C_NEJ] + [C_NEN])/2$
- (b) Analyse des résultats (« Summary statistics ») : MEAN, MAX, MIN pour les contributions diurnes et nocturnes en montagne : C_VentImmissions_Montagne.dbf
- (c) Sélectionner les enregistrements correspondant à une zone de plaine et dont la valeur de AAPMJok est supérieure à 0 (« Make feature layer ») :
("PLAINE_R" =1 OR "plaine_u" =1) AND "AAPMJok" >0
- Calculer la contribution (en %) des différents champs de vent dans les immissions totales pour le jour :
Ex. : $(([RTENEAAPMJ]*0.63)*100)/[AAPMJok]$
- (d) Faire la même chose pour la nuit
- (d) Calculer également les contributions moyennes (jour / nuit) en plaine : $([C_NEJ] + [C_NEN])/2$
- (d) Analyse des résultats (« Summary statistics ») : MEAN, MAX, MIN pour les contributions diurnes et nocturnes en plaine : C_VentImmissions_Plaaine.dbf

Ajout d'un champ correspondant aux zones homogènes (10 et plus) :

- Ajouter le champ (« add field » / type : short) : ZonesHomog
- Sélectionner les enregistrements correspondant à une zone de montagne rurale (« Make feature layer ») : MONTAGNE_R =1
- Calculer la contribution valeur du champ (« Calculate field ») : 1
- Sélectionner les enregistrements correspondant à une zone de montagne urbaine (« Make feature layer ») : MONTAGNE_U =1
- Calculer la contribution valeur du champ (« Calculate field ») : 2
- Sélectionner les enregistrements correspondant à une zone de plaine rurale (« Make feature layer ») : PLAINE_R =1
- Calculer la contribution valeur du champ (« Calculate field ») : 3
- Sélectionner les enregistrements correspondant à une zone de plaine urbaine (« Make feature layer ») : plaine_u =1
- Calculer la contribution valeur du champ (« Calculate field ») : 4

Création d'une couche « raster » représentant les zones homogènes (11) :

- « Feature to raster »: field ZonesHomog, output cell size: pop_totale_ok (sous ALPSIG_ws_raster\Donnees_RASTER\pop_totale_ok)
On obtient: zoneshomog
Sous C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws_raster\Immissions_RailRoute\ScenarioDeBase\zoneshomog

Annexe 24 : Création de zones tampons

Des zones tampons de 2000 mètres sont créées autour du réseau. Des zones tampons de différentes tailles peuvent être créées par la suite.

A partir du script 2, les itinéraires suivants sont sélectionnés et une couche (shapefile) est créée pour chaque itinéraire :

- Rail : Basel SBB – Chiasso (via Airolo):
BaselChiassoViaAirolo_Rail
- Rail: Basel SBB – Iselle di Trasquera (via Brig): BaselIselleDiTrasqueraViaBrig_Rail
- Route: Basel73 – Chiasso813 (via Airolo791):
BaselChiassoViaAirolo_Route
- Route: St.Margrethen538 – Chiasso (via Chur731): St.MargrethenChiassoViaChur_Route

Shapefiles sous C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\SCRIPT_2

Dans ArcMap, à partir de l'ensemble des itinéraires sélectionnés, des « sous-itinéraires » sont créés en sélectionnant les tronçons se trouvant entre les principaux nœuds.

Ainsi, 12 « sous-itinéraires » sont créés :

BaselOlten_Rail
 BaselOlten_Rte
 OltenIselleDiTrasquera_Rail
 OltenRisch_Rail
 RischAltdorf_Rail
 OltenAltdorf_Rte
 AltdorfBellinzona_Rail
 AltdorfBellinzona_Rte
 BellinzonaChiasso_Rail
 BellinzonaChiasso_Rte
 MargrethenBellinzona_Rte

Pour la suite : Cf. ModelALPSIG_BufferItinéraires

Les zones tampons routières et ferroviaires concernant un même corridor (mêmes origines et destinations) sont assemblées (« Merge »)

Ex. : Avec BaselOlten_Rail et BaselOlten_Rte, on obtient : BaselOlten_RailRte

Pour chaque itinéraire (ex. : avec BaselOlten_RailRte):

- Ajout d'un champ (« Add field »): Buffer (type: short)
- Calcul de ce champ (« Calculate field »): Buffer = 1, = 2, ..., = 9
- « Dissolve » with Buffer field (on n'a ainsi plus qu'un seul tronçon): BaselOlten_RailRteDiss
- Création d'une zone tampon de 2000 mètres pour chacun des itinéraires (« Buffer ») : BaselOlten_RailRteBuffer

On obtient ainsi :

1 - BaselOlten_RailRte
 2 - OltenIselleDiTrasquera_Rail
 3 - OltenRisch_Rail
 5 - RischAltdorf_Rail
 6 - OltenAltdorf_Rte
 7 - AltdorfBellinzona_RailRte
 8 - BellinzonaChiasso_RailRte
 9 - MargrethenBellinzona_Rte

Par la suite, les zones tampons OltenRisch et RischAltdorf sont regroupées.

Annexe 25 : Création de zones homogènes

Cf. Modèle « ModelZonesHomogenes »

Les différentes couches « raster » (résolution de 100 mètres) sont combinées afin de distinguer :

- les zones de montagne à densité de population faible (MontagneRurale)
- les zones de montagne à densité de population forte (MontagneUrbaine)
- les zones de plaine à densité de population forte (PlaineUrbaine)
- les zones de plaine à densité de population faible (PlaineRurale)

Les zones de montagne⁴⁶ :

- ont une altitude maximale supérieure ou égale à 800 mètres
- ont une déclivité maximale supérieure ou égale à 18%

Les zones de plaine :

- ont une altitude maximale inférieure à 800 mètres
- ont une déclivité maximale inférieure à 18%

Les zones considérées comme urbaines :

- si elles ont une densité de population supérieure ou égale à 400 habitants/km² (soit en moyenne 4 habitant/ha⁴⁷)⁴⁸.

Les zones considérées comme rurales :

- si elles ont une densité de population inférieure à 400 habitants/km² (soit en moyenne 4 habitant/ha).

Les valeurs délimitant ces zones peuvent être modifiées.

Attention : les calculs doivent être fait dans l'ordre (cf. labels) sinon, certains calculs ne peuvent être exécutés compte tenu de l'absence de résultats devant précéder leur exécution.

Statistiques relatives aux différents critères altitude et déclivité pour les cellules correspondant à la population (1 - 2):

- L'outil « cell statistics » est utilisé avec :
pop_totale_ok
mna_25
« Statistics type » MAX (maximum)⁴⁹
On obtient : mna25_100
Sous : C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws_raster\Donnees_RASTER
- L'outil « cell statistics » est utilisé avec :
pop_totale_ok
slope_mna_25
« Statistics type » MAX (maximum)
On obtient : slope_100
Sous : C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws_raster\Donnees_RASTER

Création des zones homogènes en fonction des différents critères (3-10):

- Au moyen de l'outil « single output map algebra », on crée une couche contenant les cellules appartenant à la zone « montagne » (3) :
C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws_raster\Donnees_RASTER\mna25_100>=800 AND
C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws_raster\Donnees_RASTER\slope_100>=18
On obtient : montagne100
- Au moyen de l'outil « single output map algebra », on crée une couche contenant les cellules appartenant à la zone « plaine » (4) :
C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws_raster\Donnees_RASTER\mna25_100<800 OR
C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws_raster\Donnees_RASTER\slope_100<18
On obtient : plaine100
- Au moyen de l'outil « single output map algebra », on crée une couche contenant les cellules appartenant à la zone « urbaine » (5) :
C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws_raster\Donnees_RASTER\pop_totale_ok>=4
On obtient : urbain100
- Au moyen de l'outil « single output map algebra », on crée une couche contenant les cellules appartenant à la zone « rural » (6) :
C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws_raster\Donnees_RASTER\pop_totale_ok<4
On obtient : rural100
- Au moyen de l'outil « single output map algebra », on crée une couche contenant les cellules faisant partie de la zone « montagne » et répondant au critère « rural » (7) :
C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws_raster\Donnees_RASTER\montagne100 AND
C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws_raster\Donnees_RASTER\rural100
On obtient : montagne_r
- Au moyen de l'outil « single output map algebra », on crée une couche contenant les cellules faisant partie de la zone « montagne » et répondant au critère « urbain » (8) :
C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws_raster\Donnees_RASTER\montagne100 AND
C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws_raster\Donnees_RASTER\urbain100
On obtient : montagne_u
- Au moyen de l'outil « single output map algebra », on crée une couche contenant les cellules faisant partie de la zone « plaine » et répondant au critère « rural » (9) :

⁴⁶ Cf. évolution de la délimitation des zones agricoles selon le Cadastre de la production agricole

⁴⁷ 500/100

⁴⁸ EPFL, Etude préliminaire du paysage et de sa dynamique, Chapitre 5, p. 70

⁴⁹ Des essais avec MEAN et MEDIAN sont réalisés (sauf pour la déclivité où on ne peut pas choisir la médiane). Les résultats se sont avérés moins intéressants.

C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws_raster\Donnees_RASTER\plaine100 AND
C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws_raster\Donnees_RASTER\rural100
On obtient : plaine_r

- Au moyen de l'outil « single output map algebra », on crée une couche contenant les cellules faisant partie de la zone « plaine » et répondant au critère « urbain » (10) :
C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws_raster\Donnees_RASTER\plaine100 AND
C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws_raster\Donnees_RASTER\urbain100
On obtient : plaine_u

Annexe 26 : Elaboration de critères de vulnérabilité

Cf. ModelALPSIG_Indicateurs_ScBaseSc1

Copie des tables sur lesquelles le modèle va travailler (1):

- Les tables PopBruitAir_ScBaseOk5 et PopBruitAir_Sc1Ok5 sont copiées
« Feature class to feature class »
On obtient: PopBruitAir_ScBaseOk6
PopBruitAir_Sc1Ok6

Suppression de certains champs (2) :

- Les champs relatifs à la population et à la zone (Canton_N, ZoneHomo, etc.) ainsi que les champs relatifs aux critères (indicateurs) sont conservés pour le scénario de base et le champ Numero_P ainsi que les champs relatifs aux critères (indicateurs) sont conservés pour le scénario 1 (« Delete field »).

Jointure des tables relatives aux différents scénarios :

- Créer deux couches : « Make feature layer » avec les couches PopBruitAir_ScBaseOk6 PopBruitAir_Sc1Ok6 (3)
- Joindre (« Add join ») les deux tables avec le champ « NUMERO_P » (4)
On obtient : PopBruitAir_Join
Sous C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws_raster\Immissions_RailRoute
- Afin d'obtenir une table avec les résultats de la jointure, copie de la couche obtenue « Copy feature » (5)
- Afin de renommer les champs recopie cette table (« Feature class to feature class ») – (6)
RailaLrN (scénario de base): RailaLrN b
RailaLrN (scénario 1): RailaLrN 1
Etc.
On obtient : Indicateurs_ScBaseSc1
Sous C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws_raster\Immissions_RailRoute

Ajustement de certaines valeurs afin que les données relatives au scénario 1 correspondent bien aux données du scénario de base :

Il arrive que des enregistrements différents aient été sélectionnés lors d'une jointure spatiale entre les données relatives à la population et les données d'immission du scénario de base et du scénario 1.

Il convient donc d'identifier les enregistrements dont les données des différents scénarios sont incohérentes (« Make feature layer ») et de les recalculer en fonction du scénario traité (« Calculate field »). La valeur supérieure est sélectionnée en cas de doute.

Attention: effectuer les calculs dans l'ordre...

Pour les données ferroviaires - bruit (1-4):

- (1 a) « Make feature layer » : RailaLrJb > RailaLrJ1
« Calculate field »: RailaLrJ1 = RailaLrJb
« Calculate field »: RailAALrJ1 = RailAALrJb
- (2 a) « Make feature layer » : RailaLrJb < RailaLrJ1
« Calculate field »: RailaLrJb = RailaLrJ1
« Calculate field »: RailAALrJb = RailAALrJ1
- (3 a) « Make feature layer » : RailaLrNb > RailaLrN1
« Calculate field »: RailaLrN1 = RailaLrNb
« Calculate field »: RailAALrN1 = RailAALrNb
- (4 a) « Make feature layer » : RailaLrNb < RailaLrN1
« Calculate field »: RailaLrNb = RailaLrN1
« Calculate field »: RailAALrNb = RailAALrN1
- (1 b) « Make feature layer » : (RailAALrJb > RailAALrJ1) AND (Buffer < 4) AND (Buffer < 6)
« Calculate field »: RailAALrJ1 = RailAALrJb
- (2 b) « Make feature layer » : (RailAALrJb < RailAALrJ1) AND (Buffer < 4) AND (Buffer < 6)
« Calculate field »: RailAALrJb = RailAALrJ1
- (3 b) « Make feature layer » : (RailAALrNb > RailAALrN1) AND (Buffer < 4) AND (Buffer < 6)
« Calculate field »: RailAALrN1 = RailAALrNb
- (4 b) « Make feature layer » : (RailAALrNb < RailAALrN1) AND (Buffer < 4) AND (Buffer < 6)
« Calculate field »: RailAALrNb = RailAALrN1

Pour les données routières - bruit (5-8):

- (5 a) « Make feature layer » : RteaLrJb > RteaLrJ1
« Calculate field »: RteaLrJ1 = RteaLrJb
« Calculate field »: RteAALrJ1 = RteAALrJb
- (6 a) « Make feature layer » : RteaLrJb < RteaLrJ1
« Calculate field »: RteaLrJb = RteaLrJ1
« Calculate field »: RteAALrJb = RteAALrJ1
- (7 a) « Make feature layer » : RteaLrNb > RteaLrN1
« Calculate field »: RteaLrN1 = RteaLrNb
« Calculate field »: RteAALrN1 = RteAALrNb
- (8 a) « Make feature layer » : RteaLrNb < RteaLrN1
« Calculate field »: RteaLrNb = RteaLrN1
« Calculate field »: RteAALrNb = RteAALrN1
- (5 b) « Make feature layer » : (RteAALrJb > RteAALrJ1) AND (Buffer < 3) AND (Buffer < 6) AND (Buffer < 7) AND (Buffer < 8)
« Calculate field »: RteAALrJ1 = RteAALrJb
- (6 b) « Make feature layer » : (RteAALrJb < RteAALrJ1) AND (Buffer < 3) AND (Buffer < 6) AND (Buffer < 7) AND (Buffer < 8)

- « Calculate field »: RteAALrJb = RteAALrJ1
- (7 b) « Make feature layer » : (RteAALrNb > RteAALrN1) AND (Buffer < 3) AND (Buffer < 6) AND (Buffer < 7) AND (Buffer < 8)
- « Calculate field »: RteAALrN1 = RteAALrNb
- (8 b) « Make feature layer » : (RteAALrNb < RteAALrN1) AND (Buffer < 3) AND (Buffer < 6) AND (Buffer < 7) AND (Buffer < 8)
- « Calculate field »: RteAALrNb = RteAALrN1

Pour les données ferroviaires et routières - bruit (9 et plus):

- Le bruit total (ferroviaire + routier) est recalculé selon la formule de l'OPB (« Calculate field ») :

$$RRaLrJb = 10 * (\log(10^{(0.1 * [RteaLrJb]) + 10^{(0.1 * [RailaLrJb])}})) / \log(10)$$

$$RRaLrNb = 10 * (\log(10^{(0.1 * [RteaLrNb]) + 10^{(0.1 * [RailaLrNb])}})) / \log(10)$$

$$RRAALrJb = 10 * (\log(10^{(0.1 * [RteAALrJb]) + 10^{(0.1 * [RailAALrJb])}})) / \log(10)$$

$$RRAALrNb = 10 * (\log(10^{(0.1 * [RteAALrNb]) + 10^{(0.1 * [RailAALrNb])}})) / \log(10)$$

$$RRaLrJ1 = 10 * (\log(10^{(0.1 * [RteaLrJ1]) + 10^{(0.1 * [RailaLrJ1])}})) / \log(10)$$

$$RRaLrN1 = 10 * (\log(10^{(0.1 * [RteaLrN1]) + 10^{(0.1 * [RailaLrN1])}})) / \log(10)$$

$$RRAALrJ1 = 10 * (\log(10^{(0.1 * [RteAALrJ1]) + 10^{(0.1 * [RailAALrJ1])}})) / \log(10)$$

$$RRAALrN1 = 10 * (\log(10^{(0.1 * [RteAALrN1]) + 10^{(0.1 * [RailAALrN1])}})) / \log(10)$$

Pour les données routières - air (10-13):

- (10 a) « Make feature layer » : aPMJTotb > aPMJTot1
- « Calculate field »: aPMJTot1 = aPMJTotb
- « Calculate field »: AAPMJTot1 = AAPMJTot b
- (11 a) « Make feature layer » : aPMJTotb < aPMJTot1
- « Calculate field »: aPMJTotb = aPMJTot1
- « Calculate field »: AAPMJTotb = AAPMJTot1
- (12 a) « Make feature layer » : aPMNTotb > aPMNTot1
- « Calculate field »: aPMNTot1 = aPMNTotb
- « Calculate field »: AAPMNTot1 = AAPMNTot b
- (13 a) « Make feature layer » : aPMNTotb < aPMNTot1
- « Calculate field »: aPMNTotb = aPMNTot1
- « Calculate field »: AAPMNTotb = AAPMNTot1
- (10 b) « Make feature layer » : (AAPMJTotb > AAPMJTot1) AND (Buffer < 3) AND (Buffer < 6) AND (Buffer < 7) AND (Buffer < 8)
- « Calculate field »: AAPMJTot1 = AAPMJTotb
- (11 b) « Make feature layer » : (AAPMJTotb < AAPMJTot1) AND (Buffer < 3) AND (Buffer < 6) AND (Buffer < 7) AND (Buffer < 8)
- « Calculate field »: AAPMJTotb = AAPMJTot1
- (12 b) « Make feature layer » : (AAPMNTotb > AAPMNTot1) AND (Buffer < 3) AND (Buffer < 6) AND (Buffer < 7) AND (Buffer < 8)
- « Calculate field »: AAPMNTot1 = AAPMNTotb
- (13 b) « Make feature layer » : (AAPMNTotb < AAPMNTot1) AND (Buffer < 3) AND (Buffer < 6) AND (Buffer < 7) AND (Buffer < 8)
- « Calculate field »: AAPMNTotb = AAPMNTot1

Calcul des critères (indicateurs) pour chaque enregistrement (14 et plus (scénario de base) ; 15 et plus (scénario 1)) :

Dépassement des valeurs limites d'immissions

- Ajouter les champs suivants (« Add field »):

+ b ou 1 selon le scénario

Nombre de personnes concernées par des immissions sonores supérieures aux valeurs limites (jour : 65 dB(A) / nuit : 55 dB(A)) (RR : rail et route):

B_AAjNb: dans le cas du trafic total diurne et nocturne

B_AAjN1 : pour le scénario 1 (etc.)

B_aJN: dans le cas du trafic « autre » diurne et nocturne

B_AAj: dans le cas du trafic total diurne

B_aJ: dans le cas du trafic « autre » diurne

B_aAN: dans le cas du trafic total nocturne

B_aN: dans le cas du trafic « autre » nocturne

Nombre de personnes concernées par des immissions atmosphériques supérieures aux valeurs limites (moyenne annuelle pour les particules : 20 µg) :

A_AAjN: dans le cas du trafic total diurne et nocturne

A_aJN: dans le cas du trafic « autre » diurne et nocturne

A_AAj: dans le cas du trafic total diurne

A_aJ: dans le cas du trafic « autre » diurne

A_aAN: dans le cas du trafic total nocturne

A_aN: dans le cas du trafic « autre » nocturne

Nombre de personnes concernées par des immissions sonores ET atmosphériques supérieures aux valeurs limites (RR : rail et route):

T_AAjN: dans le cas du trafic total diurne et nocturne

T_aJN: dans le cas du trafic « autre » diurne et nocturne

T_AAj: dans le cas du trafic total diurne

T_aJ: dans le cas du trafic « autre » diurne

T_aAN: dans le cas du trafic total nocturne

T_aN: dans le cas du trafic « autre » nocturne

Nombre de personnes concernées par des immissions sonores OU atmosphériques supérieures aux valeurs limites (RR : rail et route):

O_AAjN: dans le cas du trafic total diurne et nocturne

O_aJN: dans le cas du trafic « autre » diurne et nocturne

O_AAJ: dans le cas du trafic total diurne
 O_aJ: dans le cas du trafic « autre » diurne
 O_AAN: dans le cas du trafic total nocturne
 O_aN: dans le cas du trafic « autre » nocturne
 Nombre de personnes concernées par des immissions sonores ET/OU atmosphériques supérieures aux valeurs limites (RR : rail et route):
 TO_AAJN: dans le cas du trafic total diurne et nocturne
 TO_aJN: dans le cas du trafic « autre » diurne et nocturne
 TO_AAJ: dans le cas du trafic total diurne
 TO_aJ: dans le cas du trafic « autre » diurne
 TO_AAN: dans le cas du trafic total nocturne
 TO_aN: dans le cas du trafic « autre » nocturne

- Calculer ces champs:

« Make feature layer »: RR_AALRJ > 65 « Calculate field »: B_AAJ = POOBTOT
 « Make feature layer »: RR_aLRJ > 65 « Calculate field »: B_aJ = POOBTOT
 « Make feature layer »: RR_AALRN > 55 « Calculate field »: B_AAN = POOBTOT
 « Make feature layer »: RR_aLRN > 55 « Calculate field »: B_aN = POOBTOT
 « Make feature layer »: AAPMJTot > 20 « Calculate field »: A_AAJ = POOBTOT
 « Make feature layer »: aPMJTot > 20 « Calculate field »: A_aJ = POOBTOT
 « Make feature layer »: AAPMNTot > 20 « Calculate field »: A_AAN = POOBTOT
 « Make feature layer »: aPMNTot > 20 « Calculate field »: A_aN = POOBTOT
 « Make feature layer »: (AAPMJTot > 20) AND (RR_AALRJ > 65)
 « Calculate field »: T_AAJ = POOBTOT
 « Make feature layer »: (aPMJTot > 20) AND (RR_aLRJ > 65)
 « Calculate field »: T_aJ = POOBTOT
 « Make feature layer »: (AAPMNTot > 20) AND (RR_AALRN > 55)
 « Calculate field »: T_AAN = POOBTOT
 « Make feature layer »: (aPMNTot > 20) AND (RR_aLRN > 55)
 « Calculate field »: T_aN = POOBTOT
 « Make feature layer »: (AAPMJTot > 20) OR (RR_AALRJ > 65)
 « Calculate field »: O_AAJ = POOBTOT
 « Make feature layer »: (aPMJTot > 20) OR (RR_aLRJ > 65)
 « Calculate field »: O_aJ = POOBTOT
 « Make feature layer »: (AAPMNTot > 20) OR (RR_AALRN > 55)
 « Calculate field »: O_AAN = POOBTOT
 « Make feature layer »: (aPMNTot > 20) OR (RR_aLRN > 55)
 « Calculate field »: O_aN = POOBTOT
 « Make feature layer »: (RR_AALRJ > 65) AND (RR_AALRN > 55)
 « Calculate field »: B_AAJN = POOBTOT
 « Make feature layer »: (RR_aLRJ > 65) AND (RR_aLRN > 55)
 « Calculate field »: B_aJN = POOBTOT
 « Make feature layer »: (AAPMJTot > 20) AND (AAPMNTot > 20)
 « Calculate field »: A_AAJN = POOBTOT
 « Make feature layer »: (aPMJTot > 20) AND (aPMNTot > 20)
 « Calculate field »: A_aJN = POOBTOT
 « Make feature layer »: (RR_AALRJ > 65) AND (RR_AALRN > 55) AND (AAPMJTot > 20) AND (AAPMNTot > 20)
 « Calculate field »: T_AAJN = POOBTOT
 « Make feature layer »: (RR_aLRJ > 65) AND (RR_aLRN > 55) AND (aPMJTot > 20) AND (aPMNTot > 20)
 « Calculate field »: T_aJN = POOBTOT
 « Make feature layer »: (RR_AALRJ > 65) AND (RR_AALRN > 55) OR (AAPMJTot > 20) AND (AAPMNTot > 20)
 « Calculate field »: O_AAJN = POOBTOT
 « Make feature layer »: (RR_aLRJ > 65) AND (RR_aLRN > 55) OR (aPMJTot > 20) AND (aPMNTot > 20)
 « Calculate field »: O_aJN = POOBTOT
 « Make feature layer »: O_AAJN >= T_AAJN « Calculate field »: TO_AAJN = O_AAJN
 « Make feature layer »: T_AAJN >= O_AAJN « Calculate field »: TO_AAJN = T_AAJN
 « Make feature layer »: O_aJN >= T_aJN « Calculate field »: TO_aJN = O_aJN
 « Make feature layer »: T_aJN >= O_aJN « Calculate field »: TO_aJN = T_aJN
 « Make feature layer »: O_AAJ >= T_AAJ « Calculate field »: TO_AAJ = O_AAJ
 « Make feature layer »: T_AAJ >= O_AAJ « Calculate field »: TO_AAJ = T_AAJ
 « Make feature layer »: O_aJ >= T_aJ « Calculate field »: TO_aJ = O_aJ
 « Make feature layer »: T_aJ >= O_aJ « Calculate field »: TO_aJ = T_aJ
 « Make feature layer »: O_AAN >= T_AAN « Calculate field »: TO_AAN = O_AAN
 « Make feature layer »: T_AAN >= O_AAN « Calculate field »: TO_AAN = T_AAN
 « Make feature layer »: O_aN >= T_aN « Calculate field »: TO_aN = O_aN
 « Make feature layer »: T_aN >= O_aN « Calculate field »: TO_aN = T_aN

Différence observée entre le trafic total et le trafic « autre » (impact du trafic transalpin) – (16 et plus (scénario de base) ; 17 et plus (scénario 1)):

- Ajouter les champs suivants (« Add field »):

Différence entre le nombre de personnes concernées par des immissions sonores supérieures aux valeurs limites dans le cas du trafic total et du trafic « autre » (impact du trafic transalpin):

D_B_JN: dans le cas du trafic diurne ou nocturne

D_B_J: dans le cas du trafic diurne

D_B_N: dans le cas du trafic nocturne

Différence entre le nombre de personnes concernées par des immissions atmosphériques supérieures aux valeurs limites dans le cas du trafic total et du trafic « autre » (impact du trafic transalpin):

D_A_JN: dans le cas du trafic diurne ou nocturne

D_A_J: dans le cas du trafic diurne

D_A_N: dans le cas du trafic nocturne

Différence entre le nombre de personnes concernées par des immissions sonores ET atmosphériques supérieures aux valeurs limites dans le cas du trafic total et du trafic « autre » (impact du trafic transalpin):

D_T_JN: dans le cas du trafic diurne ou nocturne

D_T_J: dans le cas du trafic diurne

D_T_N: dans le cas du trafic nocturne

Différence entre le nombre de personnes concernées par des immissions sonores OU atmosphériques supérieures aux valeurs limites dans le cas du trafic total et du trafic « autre » (impact du trafic transalpin):

D_O_JN: dans le cas du trafic diurne ou nocturne

D_O_J: dans le cas du trafic diurne

D_O_N: dans le cas du trafic nocturne

Différence entre le nombre de personnes concernées par des immissions sonores ET/OU atmosphériques supérieures aux valeurs limites dans le cas du trafic total et du trafic « autre » (impact du trafic transalpin):

D_TO_JN: dans le cas du trafic diurne ou nocturne

D_TO_J: dans le cas du trafic diurne

D_TO_N: dans le cas du trafic nocturne

- Calculer ces champs:

« Calculate field »: $D_B_J = B_AAJ - B_aJ$

« Calculate field »: $D_B_N = B_AAN - B_aN$

« Calculate field »: $D_B_JN = B_AAJN - B_aJN$

« Calculate field »: $D_A_J = A_AAJ - A_aJ$

« Calculate field »: $D_A_N = A_AAN - A_aN$

« Calculate field »: $D_A_JN = A_AAJN - A_aJN$

« Calculate field »: $D_T_J = T_AAJ - T_aJ$

« Calculate field »: $D_T_N = T_AAN - T_aN$

« Calculate field »: $D_T_JN = T_AAJN - T_aJN$

« Calculate field »: $D_O_J = O_AAJ - O_aJ$

« Calculate field »: $D_O_N = O_AAN - O_aN$

« Calculate field »: $D_O_JN = O_AAJN - O_aJN$

« Calculate field »: $D_TO_J = TO_AAJ - TO_aJ$

« Calculate field »: $D_TO_N = TO_AAN - TO_aN$

« Calculate field »: $D_TO_JN = TO_AAJN - TO_aJN$

Différence observée entre le scénario de base et le scénario 1 (impact d'un transfert modal et spatial du trafic transalpin)

- Ajouter les champs suivants (« Add field ») – (18 et plus):

Différence entre le nombre de personnes concernées par des immissions sonores supérieures aux valeurs limites (trafic total) dans le cas du scénario de base et du scénario 1 (impact d'un transfert modal et spatial du trafic transalpin):

SB_JN: dans le cas du trafic diurne ou nocturne

SB_J: dans le cas du trafic diurne

SB_N: dans le cas du trafic nocturne

Différence entre le nombre de personnes concernées par des immissions atmosphériques supérieures aux valeurs limites (trafic total) dans le cas du scénario de base et du scénario 1 (impact d'un transfert modal et spatial du trafic transalpin):

SA_JN: dans le cas du trafic diurne ou nocturne

SA_J: dans le cas du trafic diurne

SA_N: dans le cas du trafic nocturne

Différence entre le nombre de personnes concernées par des immissions sonores ET atmosphériques supérieures aux valeurs limites (trafic total) dans le cas du scénario de base et du scénario 1 (impact d'un transfert modal et spatial du trafic transalpin):

ST_JN: dans le cas du trafic diurne ou nocturne

ST_J: dans le cas du trafic diurne

ST_N: dans le cas du trafic nocturne

Différence entre le nombre de personnes concernées par des immissions sonores OU atmosphériques supérieures aux valeurs limites (trafic total) dans le cas du scénario de base et du scénario 1 (impact d'un transfert modal et spatial du trafic transalpin):

SO_JN: dans le cas du trafic diurne ou nocturne

SO_J: dans le cas du trafic diurne

SO_N: dans le cas du trafic nocturne

Différence entre le nombre de personnes concernées par des immissions sonores ET/OU atmosphériques supérieures aux valeurs limites (trafic total) dans le cas du scénario de base et du scénario 1 (impact d'un transfert modal et spatial du trafic transalpin):

STO_JN: dans le cas du trafic diurne ou nocturne

STO_J: dans le cas du trafic diurne

STO_N: dans le cas du trafic nocturne

- Calculer ces champs – (19 et plus) :

« Calculate field »: $SB_JN = B_AAJN1 - B_AAJNb$

« Calculate field »: $SB_J = B_AAJ1 - B_AAJb$

« Calculate field »: $SB_N = B_AAN1 - B_AANb$

« Calculate field »: $SA_JN = A_AAJN1 - A_AAJNb$

« Calculate field »: $SA_J = A_AAJ1 - A_AAJb$

« Calculate field »: $SA_N = A_AAN1 - A_AANb$

« Calculate field »: $ST_JN = T_AAJN1 - T_AAJNb$

« Calculate field »: $ST_J = T_AAJ1 - T_AAJb$

« Calculate field »: $ST_N = T_AAN1 - T_AANb$

« Calculate field »: $SO_JN = O_AAJN1 - O_AAJNb$

« Calculate field »: $SO_J = O_AAJ1 - O_AAJb$

« Calculate field »: $SO_N = O_AAN1 - O_AANb$

« Calculate field »: $STO_JN = TO_AAJN1 - TO_AAJNb$

« Calculate field »: $STO_J = TO_AAJ1 - TO_AAJb$

« Calculate field »: $STO_N = TO_AAN1 - TO_AANb$

Remarques :

Les valeurs **néglatives** montrent une diminution des personnes concernées.

Les valeurs **positives** montrent une augmentation des personnes concernées.

Calcul des critères (indicateurs) pour les différentes zones (20) :

Nombre de personnes total concerné par des immissions supérieures aux valeurs limites...

- Les enregistrements sont regroupés en fonction de différents champs afin d'obtenir des critères (indicateurs) pour ces différentes zones (« Dissolve », Statistics field relatifs aux critères (indicateurs), SUM) :

Common

Canton_N

Buffer

ZonesHomog

On obtient :

Indicateurs_ScBaseSc1_Common

Indicateurs_ScBaseSc1_Cantons

Indicateurs_ScBaseSc1_Buffers

Indicateurs_ScBaseSc1_ZonesHomog

Sous C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws_raster\Immissions_RailRoute\

BD_ALPSIG_Resultats

Annexe 27 : Simulation de transferts modaux et/ou spatiaux du trafic transalpin

Remarques :

- le script a été conçu par Raphaëlle Arnaud et Holger Heisig (LITEP) et développé par Holger Heisig
- le script est développé dans ArcGIS (Visual Basic Editor) en langage VBA

Sauvegarde des données ferroviaires :

Avant de modifier la couche « TraficFerroviaireAlpesAutreOk » de la base de données BD_ALPSIG_Rail2 à l'aide du script, les données suivantes sont copiées :

BD_ALPSIG_Rail2
BD_ALPSIG_Rail3
BD_ALPSIG_Rail4
rail_aaleqj, ..., rail_aakj, ... (sous ALPSIG_ws)
rail_aleqj, ..., rail_akj, ... (sous ALPSIG_ws)
Rail_Recl0 (sous ALPSIG_ws)
rail_points (sous ALPSIG_ws)
Rail_Bruit_1, ... (sous ALPSIG_ws)
Rail_Bruit_Ok (sous ALPSIG_ws)
TraficFerroviaireOk (sous ALPSIG_ws)

Et sont enregistrées sous un nouveau dossier : « ScenarioDeBase » ; « Scenario1 » ; etc. (sous ALPSIG_ws)

Le contenu des différentes bases de données est supprimé (à l'exception des tables TraficFerroviaireAlpesAutreOk_Origine, NoeudsFerroviaires, TraficFerroviaireAlpesAutreOk_ChG (table) sous BD_ALPSIG_Rail2) ainsi que les fichiers se trouvant sous ALPSIG_ws.

ATTENTION : La table TraficFerroviaireAlpesAutreOk_Origine va être utilisée pour les scénarios (il faut garder tel quel !!!).

Les tables TraficFerroviaireAlpesAutreOk_Origine, NoeudsFerroviaires, TraficFerroviaireAlpesAutreOk_ChG (table) contenues sous la BD_ALPSIG_Rail2 se retrouvent sous BD_ALPSIG_Transfert_Origine.mdb sous C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\SCRIPT_2

Remarque :

Pour chaque nouveau scénario, cette base de données d'origine est copiée (BD_ALPSIG_Transfert_Origine.mdb) et est nommée BD_ALPSIG_Transfert_Scenario1, etc.

La couche TraficFerroviaireAlpesAutreOk_Origine est copiée et enregistrée sous TraficFerroviaireAlpesAutreOk. Cette couche est modifiée avec le script.

Une fois les modifications apportées par le script, la couche TraficFerroviaireAlpesAutreOk de BD_ALPSIG_Rail2 est exportée sous ALPSIG_ws.

Les bases de données sont compactées (« compact »).

Sauvegarde des données routières :

Avant de modifier la couche « TraficRoutierTransalpinOk » de la base de données BD_ALPSIG_Route à l'aide du script, les données suivantes sont copiées :

la BD_ALPSIG_Route
la BD_ALPSIG_Route 2
la BD_ALPSIG_Route 3
la BD_ALPSIG_Route 4
la BD_ALPSIG_Route 6
TraficRoutierAlpesAutreOk.shp (sous ALPSIG_ws)
route_aaleqj, ..., route_akj, ... (sous ALPSIG_ws)
route_ahcj, ..., route_aahcj, ... (sous ALPSIG_ws)
Route_Recl0 (sous ALPSIG_ws)
route_points (sous ALPSIG_ws)
Route_BruitAir_1, ... (sous ALPSIG_ws)
Route_BruitAir_Ok (sous ALPSIG_ws)
TraficRoutierOk (sous ALPSIG_ws)
TraficRoutierAlpesAutre (sous ALPSIG_ws)
TraficRoutierAlpesAutreOk (sous ALPSIG_ws)

Et enregistrées sous un nouveau dossier : « ScenarioDeBase » ; « Scenario1 » ; etc. (sous ALPSIG_ws)

Le contenu des différentes base de données est supprimé (à l'exception des données relatives au trafic « autre » se trouvant sous la BD_ALPSIG_Route) ainsi que les fichiers se trouvant sous ALPSIG_ws.

ATTENTION : NE PAS SUPPRIMER TraficRoutierTransalpinOk_Origine, TraficRoutierTransalpinOk_ChG, NoeudsRoutiers, StatEmissionsAtmCH (table), TraficRoutierAutreOk ET TraficRoutierAutreOkOk DE BD_Route (corrections manuelles suite à la présentation du 14.12.05 et suite au test du script 2 – 20.02.06)

Les couches TraficRoutierTransalpinOk_Origine, NoeudsRoutiers, TraficRoutierTransalpinOk_ChG (table) contenues sous la BD_ALPSIG_Route se retrouvent sous BD_ALPSIG_Transfert_Origine.mdb sous C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\SCRIPT_2

Remarque :

Pour chaque nouveau scénario, cette base de données d'origine est copiée (BD_ALPSIG_Transfert_Origine.mdb) et est nommée BD_ALPSIG_Transfert_Scenario1, etc.

La couche TraficRoutierTransalpinOk_Origine est copiée et est nommée TraficRoutierTransalpinOk. Cette couche est modifiée avec le script.

Une fois les modifications apportées par le script à la table, la couche TraficRoutierTransalpinOk est exportée de la base de données BD_ALPSIG_Route sous ALPSIG_ws.

Les bases de données sont compactées (« compact »).

Traitement des données routières et ferroviaires (pas besoin de refaire ces traitements) :

Traitement des données:

Cf. ModelALPSIG_ScriptTransfertTrafic

Ce modèle n'est exécuté qu'une seule fois.

Travail sur les données contenues dans la base de données BD_ALPSIG_Rail2 et BD_ALPSIG_Route sous ALPSIG_ws

Route :

Suppression de certains champs (1) :

A_ToBrut99, A_PoidsMoyVeh, A_NbVehJN et A_ToBrutJN.

Ajout d'une colonne (ChoixItin – Add field) à la couche TraficRoutierTransalpinOk et calcul de cette colonne (Calculate field) : [SHAPE_Length]+([A_FRC]*10) – (2-3).

Rail et route :

Ajout des champs suivants dans les deux tables (4-9) :

- Countfield (integer)
- Helpfield (integer)
- Result (double)
- Result2 (double)

Exportation des nœuds vers les bases de données (10 et plus).

On obtient : NœudsRoutiers sous BD_ALPSIG_Rail2

NœudsFerroviaires sous BD_ALPSIG_Route

Pour les nœuds routiers, il est nécessaire de recalculer le champ GEMNAME (nom de la commune dans laquelle se trouve le nœud) puisque plusieurs nœuds ont le même nom et que cela pose problème lorsqu'on sélectionne un itinéraire – « Calculate field » :

GEMNAME = [GEMNAME] & [OBJECTID]

Vérification et réparation de la géométrie (12-15) :

- Check Geometry
- Repair Geometry

On obtient : TraficFerroviaireAlpesAutreOk_ChG

TraficRoutierTransalpinOk_ChG

STOP : Hors Modèle

Certains nœuds ne sont plus utilisés et il est nécessaire de les supprimer (ArcMap).

Pour la route :

- à partir de NœudsRoutiers (NOD_R), une jointure est faite avec TraficRoutierTransalpinOk (A_NODa)
- ouverture de la couche NœudsRoutiers (table) et tri (sort ascending) selon les valeurs du champ « TraficRoutierTransalpinOk.A_Noda »
- sélection des enregistrements dont la valeur est « null » (ainsi que du champ « TraficRoutierTransalpinOk.A_Nodb »)
- à partir de NœudsRoutiers la jointure est supprimée (« remove »)
- exportation des nœuds qui sont sélectionnés : « export data » (selected feature) – on obtient NœudsRoutiersSupprimes sous C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\SCRIPT_2
- « editor », « start editing » : suppression des enregistrements de la couche NœudsRoutiers qui sont sélectionnés (correspondants à NœudsRoutiersSupprimes)

Pour le rail :

- la même chose est réalisée (NOD_F)

Importation des données dans une nouvelle base de données :

Importation des données routières (TraficRoutierTransalpinOk, NœudsRoutiers) et ferroviaire (TraficFerroviaireAlpesAutreOk, NœudsFerroviaires) dans une même base de données : BD_ALPSIG_Transfert_Origine sous C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\SCRIPT_2

Création de deux réseaux géométriques :

Création de deux réseaux géométriques dans la base de données BD_ALPSIG_Transfert_Origine avec:

- TraficFerroviaireAlpesAutreOk et NœudsFerroviaires
- TraficRoutierTransalpinOk et NœudsRoutiers

Ces couches contiennent le trafic transalpin dans un sens ou dans l'autre – elles sont agrégée (dissolve) par la suite.

- « Select » : le réseau et les nœuds

Via: Airolo791
 Arrival: Chiasso813
 - 500000 units
 DestinationField: Result
 Go4

Check Dep, Via
 Ok
 Only 183309 units can be subtracted
 Check Via, Arr
 Ok
 Only 211750 units can be subtracted
 On vérifie les résultats: Result <> A_NbVeh99

On prend le minimum 183309

Chiasso - Basel:

Go1, Go2
 Field: A_NbVeh99
 Go3
 Departure: Chiasso813
 Via: Airolo791
 Arrival: Basel73
 - 500000 units
 DestinationField: Result
 Go4

Check Dep, Via
 Ok
 Only 267200 units can be subtracted
 Check Via, Arr
 Ok
 Only 217541 units can be subtracted
 On vérifie les résultats: Result <> A_NbVeh99

On prend le minimum 217541

Mise à 0 des champs Result, Result2, Helpfield et Countfield (par sécurité).

Modification du nombre de poids lourds (transfert de la route...) :

Basel - Chiasso:

Go1, Go2
 Field: A_NbVeh99
 Go3
 Departure: Basel73
 Via: Airolo791
 Arrival: Chiasso813
 - 183309 units
 DestinationField: Result
 Go4

Check Dep, Via
 Ok
 Check Via, Arr
 Ok

Vérification et corrections :

- « Select by attributes » : TrafficRoutierTransalpinOk, A_NbVeh99-183309 = Result
- « Open table » : « selected features », « shape length », « sort ascending » : si on a deux fois la même longueur de tronçon, il faut vérifier et corriger manuellement les résultats – problème au niveau des tronçons qui ne sont pas sélectionnés et qui devraient l'être.

Chiasso - Basel:

Go1, Go2
 Field: Result
 Go3
 Departure: Chiasso813
 Via: Airolo791
 Arrival: Basel73
 - 217541 units
 DestinationField: Result2
 Go4

Check Dep, Via
Ok
Check Via, Arr
Ok

« selected features »

Vérification et corrections :

- « Select by attributes » : TraficRoutierTransalpinOk, A_NbVeh99-217541 = Result2
- « Open table » : « selected features », « shape length », « sort ascending » : si on a deux fois la même longueur de tronçon, il faut vérifier et corriger manuellement les résultats – problème au niveau des tronçons qui ne sont pas sélectionnés et qui devraient l'être.
- « Calculate field » : A_NbVeh99 = Result2
- Exportation de la couche TraficRoutierTransalpinOk sous BD_Route (sous ALPSIG_ws)
- Suppression de champs (« Delete field ») de la couche TraficRoutierTransalpinOk sous BD_Route : Result, Result2, Countfield, Helpfield, ChoixItin

Modification du nombre de tonnes nettes (... au rail) :

Basel - Chiasso:

Go1, Go2
Field: A_ToNet99
Go3
Departure: Basel73
Via: Brig
Arrival: Iselle di Trasquera
+ 1283163 (183309*7) units
DestinationField: Result
Go4

Check Dep, Via
Ok
Only 183309 units can be subtracted
Check Via, Arr
Ok

Vérification et corrections :

- « Select by attributes » : TraficFerroviaireAlpesAutreOk, A_ToNet99+1283163=Result
- « Open table » : « selected features », « shape length », sort ascending » : si on a deux fois la même longueur de tronçon, il faut vérifier et corriger manuellement les résultats – problème au niveau des tronçons qui ne sont pas sélectionnés et qui devraient l'être : pas de problème.

Chiasso - Basel:

Go1, Go2
Field: Result
Go3
Departure: Iselle di Trasquera
Via: Brig
Arrival: Basel73
+ 1522787 (217541*7) units
DestinationField: Result2
Go4

Check Dep, Via
Ok
Check Via, Arr
Ok

Vérification et corrections :

- « Select by attributes » : TraficFerroviaireAlpesAutreOk, A_ToNet99+1522787=Result2
- « Open table » : « selected features », « shape length », « sort ascending » : si on a deux fois la même longueur de tronçon, il faut vérifier et corriger manuellement les résultats – problème au niveau des tronçons qui ne sont pas sélectionnés et qui devraient l'être : pas de problème.
- « Calculate field » : A_ToNet99 = Result2
- Exportation de la couche TraficFerroviaireAlpesAutreOk sous BD_Rail2 (sous ALPSIG_ws)
- Suppression de champs (« Delete field ») de la couche TraficRoutierTransalpinOk sous BD_Route : Result, Result2, Countfield, Helpfield

Exécution des modèles:

Les deux modèles ferroviaires sont exécutés :

- ModelALPSIG_Rail
- ModelALPSIG_Rail_Suite

Les deux modèles routiers sont exécutés :

- ModelALPSIG_Route
- ModelALPSIG_Route_Suite

Les résultats pouvant être traités sous Matlab figurent sous :

C:\RAPHAELLE\SIG\THESE_SIG\ALPSIG_ws\Matlab\DonneesTxt_ScenarioDeBase (Scenario1, etc.)

L'algorithme:

« This document » :

```
Private Sub UIButtonControl1_Click()
UserForm1.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub UIButtonControl2_Click()
```

```
End Sub
```

```
Private Sub UIButtonControl3_Click()
UserForm2.Show
```

```
End Sub
```

« UserForm1 » :

« UserForm2 » :

« Module1 » :

```

private m_ipPoints As IPointCollection

Public Sub Form_Load_Networks(UserFormX As UserForm, IntHelper As Integer)

Dim m_pApp As IApplication
Set m_pApp = Application

Dim pUID As New UID
pUID = "esricore.UtilityNetworkAnalysisExt"

Dim pNetworkAnalysisExt As INetworkAnalysisExt
Set pNetworkAnalysisExt = m_pApp.FindExtensionByCLSID(pUID)

Dim pGeometricNetwork As IGeometricNetwork

Dim lngNetworkCount As Long
lngNetworkCount = pNetworkAnalysisExt.NetworkCount

For I = 0 To lngNetworkCount - 1
    Set pGeometricNetwork = pNetworkAnalysisExt.Network(I)
    Dim pDataset As IDataset
    Set pDataset = pNetworkAnalysisExt.Network(I)
    If IntHelper = 1 Then
        UserFormX.CboNetName.AddItem pDataset.Name
    ElseIf IntHelper = 2 Then
        UserFormX.CboToNetName.AddItem pDataset.Name
    End If
Next

End Sub

Public Sub Form_Load_Lay(UserFormX As UserForm, IntHelper As Integer)
Dim pMxDocument As IMxDocument
Set pMxDocument = ThisDocument

Dim pMap As IMap
Set pMap = pMxDocument.FocusMap

Dim pLayer As ILayer

```

```

Dim pFeatureLayer2 As IFeatureLayer2

Dim LayerCount As Integer

Dim m_pApp As IApplication
Set m_pApp = Application
Dim pUID As New UID
pUID = "esricore.UtilityNetworkAnalysisExt"
Dim pNetworkAnalysisExt As INetworkAnalysisExt
Set pNetworkAnalysisExt = m_pApp.FindExtensionByCLSID(pUID)
Dim pGeometricNetwork As IGeometricNetwork
Dim lngNetworkCount As Long
lngNetworkCount = pNetworkAnalysisExt.NetworkCount

Dim pDataset As IDataset
Dim lngFeatureLayerCount As Long

Dim ipNetwork As INetwork
Dim ipNetSchema As INetSchema

If IntHelper = 1 Then
    For I = 0 To lngNetworkCount - 1
        Set pGeometricNetwork = pNetworkAnalysisExt.Network(I)
        Set pDataset = pNetworkAnalysisExt.Network(I)
        If pDataset.Name = UserFormX.CboNetName.Value Then
            Set pNetworkAnalysisExt.CurrentNetwork = pGeometricNetwork
            Exit For
        End If
    Next

    lngFeatureLayerCount = pNetworkAnalysisExt.FeatureLayerCount

    For LayerCount = 0 To lngFeatureLayerCount - 1
        If TypeOf pNetworkAnalysisExt.FeatureLayer(LayerCount) Is IFeatureLayer Then
            Set pFeatureLayer2 = pNetworkAnalysisExt.FeatureLayer(LayerCount)
            If pFeatureLayer2.ShapeType = esriGeometryPolyline Or pFeatureLayer2.ShapeType =
esriGeometryLine Then
                UserFormX.CboLineLayer.AddItem
pNetworkAnalysisExt.FeatureLayer(LayerCount).Name
            ElseIf pFeatureLayer2.ShapeType = esriGeometryMultipoint Or
pFeatureLayer2.ShapeType = esriGeometryPoint Then
                UserFormX.CboNodeLayer.AddItem
pNetworkAnalysisExt.FeatureLayer(LayerCount).Name
            End If
        End If
    Next LayerCount

    Set ipNetwork = pGeometricNetwork.Network
    Set ipNetSchema = ipNetwork

    For WeightCount = 0 To ipNetSchema.WeightCount - 1
        UserFormX.CboFromWeight.AddItem ipNetSchema.Weight(WeightCount).WeightName
    Next

ElseIf IntHelper = 2 Then

    For I = 0 To lngNetworkCount - 1
        Set pGeometricNetwork = pNetworkAnalysisExt.Network(I)
        Set pDataset = pNetworkAnalysisExt.Network(I)
        If pDataset.Name = UserFormX.CboToNetName.Value Then
            Set pNetworkAnalysisExt.CurrentNetwork = pGeometricNetwork
            Exit For
        End If
    Next

    lngFeatureLayerCount = pNetworkAnalysisExt.FeatureLayerCount

    For LayerCount = 0 To lngFeatureLayerCount - 1
        If TypeOf pNetworkAnalysisExt.FeatureLayer(LayerCount) Is IFeatureLayer Then
            Set pFeatureLayer2 = pNetworkAnalysisExt.FeatureLayer(LayerCount)
            If pFeatureLayer2.ShapeType = esriGeometryPolyline Or pFeatureLayer2.ShapeType =
esriGeometryLine Then
                UserFormX.CboToLineLayer.AddItem
pNetworkAnalysisExt.FeatureLayer(LayerCount).Name
            ElseIf pFeatureLayer2.ShapeType = esriGeometryMultipoint Or
pFeatureLayer2.ShapeType = esriGeometryPoint Then

```



```

        UserFormX.CboToNodeLayer.AddItem
pNetworkAnalysisExt.FeatureLayer(LayerCount).Name
    End If
    End If
Next LayerCount

Set ipNetwork = pGeometricNetwork.Network
Set ipNetSchema = ipNetwork

For WeightCount = 0 To ipNetSchema.WeightCount - 1
    UserFormX.CboToWeight.AddItem ipNetSchema.Weight(WeightCount).WeightName
Next
End If

End Sub

Public Sub LoadFields(UserFormX As UserForm, IntHelper As Integer)

Dim pMxDocument As IMxDocument
Set pMxDocument = ThisDocument

Dim pMap As IMap
Set pMap = pMxDocument.FocusMap

Dim pLineLayer As ILayer
Dim pNodeLayer As ILayer

Dim LayerCount As Integer

For LayerCount = 0 To pMap.LayerCount - 1
    If IntHelper = 1 Then
        If pMap.Layer(LayerCount).Name = UserFormX.CboLineLayer.Value Then
            Set pLineLayer = pMap.Layer(LayerCount)
        ElseIf pMap.Layer(LayerCount).Name = UserFormX.CboNodeLayer.Value Then
            Set pNodeLayer = pMap.Layer(LayerCount)
        End If
    ElseIf IntHelper = 2 Then
        If pMap.Layer(LayerCount).Name = UserFormX.CboToLineLayer.Value Then
            Set pLineLayer = pMap.Layer(LayerCount)
        ElseIf pMap.Layer(LayerCount).Name = UserFormX.CboToNodeLayer.Value Then
            Set pNodeLayer = pMap.Layer(LayerCount)
        End If
    End If
Next LayerCount

Dim ipFeatureLayer As IFeatureLayer
Set ipFeatureLayer = pLineLayer

Dim ipFeatureClass As IFeatureClass
Set ipFeatureClass = ipFeatureLayer.FeatureClass

Dim pFields As IFields
Dim I As Integer

Set pFields = ipFeatureClass.Fields

For I = 0 To pFields.FieldCount - 1
    If IntHelper = 1 Then
        If pFields.Field(I).Type = esriFieldTypeDouble Then
            UserFormX.CboLineFieldOrig.AddItem pFields.Field(I).Name
            UserFormX.CboLineFieldDest.AddItem pFields.Field(I).Name
        ElseIf pFields.Field(I).Type = esriFieldTypeInteger Or pFields.Field(I).Type =
esriFieldTypeSmallInteger Then
            UserFormX.CboCountField.AddItem pFields.Field(I).Name
            UserFormX.CboFromField.AddItem pFields.Field(I).Name
            UserFormX.CboToField.AddItem pFields.Field(I).Name
            UserFormX.CboCount.AddItem pFields.Field(I).Name
        End If
    ElseIf IntHelper = 2 Then
        If pFields.Field(I).Type = esriFieldTypeDouble Then
            UserFormX.CboToLineFieldOrig.AddItem pFields.Field(I).Name
            UserFormX.CboToLineFieldDest.AddItem pFields.Field(I).Name
        ElseIf pFields.Field(I).Type = esriFieldTypeInteger Or pFields.Field(I).Type =
esriFieldTypeSmallInteger Then
            UserFormX.CboCountToField.AddItem pFields.Field(I).Name

```

```

        UserFormX.CboFromField2.AddItem pFields.Field(I).Name
        UserFormX.CboToField2.AddItem pFields.Field(I).Name
        UserFormX.CboCountTo.AddItem pFields.Field(I).Name
    End If
End If
Next I

Set ipFeatureLayer = pNodeLayer
Set ipFeatureClass = ipFeatureLayer.FeatureClass
Set pFields = ipFeatureClass.Fields
For I = 0 To pFields.FieldCount - 1
    If IntHelper = 1 Then
        If pFields.Field(I).Type = esriFieldTypeString Or _
            pFields.Field(I).Type = esriFieldTypeInteger Or _
            pFields.Field(I).Type = esriFieldTypeOID Or _
            pFields.Field(I).Type = esriFieldTypeSmallInteger Then
            UserFormX.CboNodeFieldOrig.AddItem pFields.Field(I).Name
            UserFormX.CboNodeFieldId.AddItem pFields.Field(I).Name
        End If
    ElseIf IntHelper = 2 Then
        If pFields.Field(I).Type = esriFieldTypeString Or _
            pFields.Field(I).Type = esriFieldTypeInteger Or _
            pFields.Field(I).Type = esriFieldTypeOID Or _
            pFields.Field(I).Type = esriFieldTypeSmallInteger Then
            'UserFormX.CboToNodeFieldOrig.AddItem pFields.Field(I).Name
            UserFormX.CboToNodeFieldId.AddItem pFields.Field(I).Name
        End If
    End If
Next I

UserFormX.Repaint

End Sub

Public Sub LoadLists(UserFormX As UserForm)

    Dim pMxDocument As IMxDocument
    Set pMxDocument = ThisDocument

    Dim pMap As IMap
    Set pMap = pMxDocument.FocusMap

    Dim pNodeLayer As ILayer
    Dim LayerCount As Integer

    For LayerCount = 0 To pMap.LayerCount - 1
        If pMap.Layer(LayerCount).Name = UserFormX.CboNodeLayer.Value Then
            Set pNodeLayer = pMap.Layer(LayerCount)
        End If
    Next LayerCount

    Dim ipFeatureLayer As IFeatureLayer
    Set ipFeatureLayer = pNodeLayer

    Dim ipFeatureClass As IFeatureClass
    Set ipFeatureClass = ipFeatureLayer.FeatureClass

    Dim pFields As IFields
    Set pFields = ipFeatureClass.Fields

    Dim strFieldName As String

    Dim I As Integer
    For I = 0 To pFields.FieldCount - 1
        If pFields.Field(I).Name = UserFormX.CboNodeFieldOrig.Value Then
            strFieldName = UserFormX.CboNodeFieldOrig.Value
        End If
    Next I

    Dim ipFeatureCursor As IFeatureCursor
    Set ipFeatureCursor = ipFeatureClass.Search(Nothing, False)

    Dim pFeature As IFeature
    Set pFeature = ipFeatureCursor.NextFeature

    Dim strDep As String

```

```

Dim strArr As String
Dim strVia As String

While Not pFeature Is Nothing

    strDep = pFeature.Value(pFeature.Fields.FindField(strFieldName))
    strArr = pFeature.Value(pFeature.Fields.FindField(strFieldName))
    strVia = pFeature.Value(pFeature.Fields.FindField(strFieldName))

    UserFormX.CboDep.AddItem strDep
    UserFormX.CboArr.AddItem strArr
    UserFormX.CboVia.AddItem strVia

    Set pFeature = ipFeatureCursor.NextFeature

Wend

End Sub

Private Function CreateFlagSymbol() As ISimpleMarkerSymbol
    Dim pRgbColor As IRgbColor
    Dim pSimpleMarkerSymbol As ISimpleMarkerSymbol

    'Create an RGB colour of Green
    Set pRgbColor = New RgbColor
    With pRgbColor
        .Red = 0
        .Green = 255
        .Blue = 0
    End With

    'create the flag symbol (green square, no outline, size 10)
    Set pSimpleMarkerSymbol = New SimpleMarkerSymbol
    With pSimpleMarkerSymbol
        .Color = pRgbColor
        .Style = esriSMSSSquare
        .Outline = False
        .Size = 10
    End With
    Set CreateFlagSymbol = pSimpleMarkerSymbol

End Function

Public Sub SetFlags(longNod1 As Long, longNod2 As Long, UserFormX As UserForm, IntHelper As Integer)

Dim ipMxDoc As IMxDocument
Set ipMxDoc = ThisDocument

Dim ipMap As IMap
Set ipMap = ipMxDoc.FocusMap

Debug.Assert ipMap.LayerCount > 0
'layer with network junctions must be in the third layer:
Dim ipLayer As ILayer

Dim LayerCount As Long
For LayerCount = 0 To ipMap.LayerCount - 1
    If IntHelper = 1 Then
        If ipMap.Layer(LayerCount).Name = UserFormX.CboNodeLayer.Value Then
            Set ipLayer = ipMap.Layer(LayerCount)
            Exit For
        End If
    ElseIf IntHelper = 2 Then
        If ipMap.Layer(LayerCount).Name = UserFormX.CboToNodeLayer.Value Then
            Set ipLayer = ipMap.Layer(LayerCount)
            Exit For
        End If
    End If
Next LayerCount

Dim ipFeatureLayer As IFeatureLayer
Set ipFeatureLayer = ipLayer

Dim ipFDB As IFeatureDataset
Set ipFDB = ipFeatureLayer.FeatureClass.FeatureDataset

```



```

Dim ipFeatureClass As IFeatureClass
Set ipFeatureClass = ipFeatureLayer.FeatureClass

Dim ipFeatureCursor As IFeatureCursor
Set ipFeatureCursor = ipFeatureClass.Search(Nothing, False)

Dim ipPointFeature As IFeature
Set ipPointFeature = ipFeatureCursor.NextFeature

Set m_ipPoints = New Multipoint

Dim pFlagDisplay As IFlagDisplay
Dim strNodeFieldId As String

If IntHelper = 1 Then
    strNodeFieldId = UserFormX.CboNodeFieldId.Value
ElseIf IntHelper = 2 Then
    strNodeFieldId = UserFormX.CboToNodeFieldId.Value
End If

' A feature cursor loops through all features from the "accrochagenoedsferrov" data that
' form part of the network
While Not ipPointFeature Is Nothing

    'Dim LUCID As Long, LUID As Long, USubID As Long
    Dim pUID As New UID
    Dim k As Long
    k = ipPointFeature.Value(ipPointFeature.Fields.FindField(strNodeFieldId))
    If k = longNod1 Or k = longNod2 Then

        Set pFlagDisplay = New JunctionFlagDisplay

        With pFlagDisplay
            .FeatureClassID = LUCID
            .FID = LUID
            .SubID = USubID
            Set .Geometry = ipPointFeature.Shape
            'pGN.GeometryForJunctionEID(pSJF.EID)
            Set .Symbol = CreateFlagSymbol
        End With
        AddFlag pFlagDisplay, UserFormX, IntHelper

        Dim kpPoint As IPoint
        Set kpPoint = ipPointFeature.Shape
        ' Here, the starting and the destination point of the path to be solved are being
assigned
        ' to the multipoint feature
        m_ipPoints.AddPoint kpPoint
    End If

    Set ipPointFeature = ipFeatureCursor.NextFeature
Wend

End Sub

Public Sub AddFlag(pFlagDisplay As IFlagDisplay, UserFormX As UserForm, IntHelper As Integer)

Dim pNetworkAnalysisExt As INetworkAnalysisExt
Dim pNetworkAnalysisExtFlags As INetworkAnalysisExtFlags

Dim pUID As New UID
Dim m_pApp As IApplication

Set m_pApp = Application
pUID = "esricore.UtilityNetworkAnalysisExt"
Set pNetworkAnalysisExt = m_pApp.FindExtensionByCLSID(pUID)

Dim pGeometricNetwork As IGeometricNetwork
Dim lngNetworkCount As Long
lngNetworkCount = pNetworkAnalysisExt.NetworkCount

Dim pDataset As IDataset
Dim lngFeatureLayerCount As Long

If IntHelper = 1 Then
    For I = 0 To lngNetworkCount - 1
        Set pGeometricNetwork = pNetworkAnalysisExt.Network(I)
    
```

```

        Set pDataset = pNetworkAnalysisExt.Network(I)
        If pDataset.Name = UserFormX.CboNetName.Value Then
            Set pNetworkAnalysisExt.CurrentNetwork = pGeometricNetwork
            'Set pGeometricNetwork = pNetworkAnalysisExt.Network(I)
            Exit For
        End If
    Next
ElseIf IntHelper = 2 Then
    For I = 0 To lngNetworkCount - 1
        Set pGeometricNetwork = pNetworkAnalysisExt.Network(I)
        Set pDataset = pNetworkAnalysisExt.Network(I)
        If pDataset.Name = UserFormX.CboToNetName.Value Then
            Set pNetworkAnalysisExt.CurrentNetwork = pGeometricNetwork
            'Set pGeometricNetwork = pNetworkAnalysisExt.Network(I)
            Exit For
        End If
    Next
End If

Set pNetworkAnalysisExtFlags = pNetworkAnalysisExt
pNetworkAnalysisExtFlags.AddJunctionFlag pFlagDisplay
End Sub

Public Sub TraceIt(UserFormX As UserForm, IntHelper As Integer)
    'Assign the WI wieght as FromTo, ToFrom...
    Dim pNetworkAnalysisExt As INetworkAnalysisExt
    Dim pNetworkAnalysisExtWeights As INetworkAnalysisExtWeights
    Dim pUID As New UID
    pUID = "esricore.UtilityNetworkAnalysisExt"
    Set m_pApp = Application
    Set pNetworkAnalysisExt = m_pApp.FindExtensionByCLSID(pUID)
    Set pNetworkAnalysisExtWeights = pNetworkAnalysisExt

    'MsgBox UserFormX.CboFromWeight.Value
    'Dim StrWeightName As String
    'StrWeightName = UserFormX.CboFromWeight.Value
    If IntHelper = 1 Then
        pNetworkAnalysisExtWeights.FromToEdgeWeightName = UserFormX.CboFromWeight.Value
        pNetworkAnalysisExtWeights.ToFromEdgeWeightName = UserFormX.CboFromWeight.Value
    Else
        pNetworkAnalysisExtWeights.FromToEdgeWeightName = UserFormX.CboToWeight.Value
        pNetworkAnalysisExtWeights.ToFromEdgeWeightName = UserFormX.CboToWeight.Value
    End If

    'Taking care of the trace task...
    Dim pTraceTasks As ITraceTasks
    Dim pTraceTask As ITraceTask
    'Dim pNetworkAnalysisExt As INetworkAnalysisExt
    'Dim m_pApp As IApplication

    'Set pNetworkAnalysisExt = m_pApp.FindExtensionByCLSID(pUID)
    Set pNetworkAnalysisExt = pNetworkAnalysisExtWeights
    'MsgBox pNetworkAnalysisExtWeights.FromToEdgeWeightName
    'pNetworkAnalysisExt.CurrentNetwork.
    'MsgBox pNetworkAnalysisExt.Network(1).FeatureDataset.Name
    Set pTraceTasks = pNetworkAnalysisExt

    'Ok, we're going to enumerate through each task based on the count
    'to make sure we are setting the right one
    Dim I, j As Long
    I = pTraceTasks.TaskCount - 1
    For j = 0 To I
        Set pTraceTask = pTraceTasks.Task(j)
        If pTraceTask.Name = "Find Path" Then Exit For
    Next

    Set pTraceTasks.CurrentTask = pTraceTask
    If pTraceTask.EnableSolve Then

        pTraceTask.OnTraceExecution

    End If

End Sub

Public Sub StartEdit(pEditor As IEditor, UserFormX As UserForm)
    Dim pMxDoc As IMxDocument

```

```

Dim pMap As IMap
Dim pFeatureLayer As IFeatureLayer
Dim pDataset As IDataset
Dim LayerCount As Integer

Set pMxDoc = Application.Document
Set pMap = pMxDoc.FocusMap

'If an edit session has already been started exit
If Not pEditor.EditState = esriStateNotEditing Then Exit Sub

'Start editing the workspace of the first featurelayer you find
For LayerCount = 0 To pMap.LayerCount - 1
    Set pFeatureLayer = pMap.Layer(LayerCount)
    Set pDataset = pFeatureLayer.FeatureClass
    pEditor.StartEditing pDataset.Workspace
Next LayerCount
End Sub

Public Sub FindDirection(longNod1 As Long, UserFormX As UserForm, IntHelper As Integer)
    Dim pDoc As IMxDocument
    Dim pFeatLayer As IFeatureLayer
    Dim pFeatCursor As IFeatureCursor
    Dim p2FeatCursor As IFeatureCursor
    Dim pFeature As IFeature
    Dim p2Feature As IFeature
    Dim pFeatureSelection As IFeatureSelection
    Dim pSelectionSet As ISelectionSet2

    Dim pFeatureClass As IFeatureClass

    Dim dblValue As Double
    dblValue = UserFormX.BoxValue.Value

    Set pDoc = Application.Document

    Dim LayerCount As Long
    For LayerCount = 0 To pDoc.FocusMap.LayerCount - 1
        If IntHelper = 1 Then
            If pDoc.FocusMap.Layer(LayerCount).Name = UserFormX.CboLineLayer.Value Then
                Set pFeatLayer = pDoc.FocusMap.Layer(LayerCount)
            End If
        ElseIf IntHelper = 2 Then
            If pDoc.FocusMap.Layer(LayerCount).Name = UserFormX.CboToLineLayer.Value Then
                Set pFeatLayer = pDoc.FocusMap.Layer(LayerCount)
            End If
        End If
    Next LayerCount

    Set pFeatureSelection = pFeatLayer
    Set pSelectionSet = pFeatureSelection.SelectionSet
    pSelectionSet.Update Nothing, False, pFeatCursor

    Dim LongB As Long
    Dim a, b, m As Long

    If IntHelper = 1 Then
        a = pFeatCursor.FindField(UserFormX.CboFromField.Value)
        b = pFeatCursor.FindField(UserFormX.CboToField.Value)
        m = pFeatCursor.FindField(UserFormX.CboCountField.Value)
    ElseIf IntHelper = 2 Then
        a = pFeatCursor.FindField(UserFormX.CboFromField2.Value)
        b = pFeatCursor.FindField(UserFormX.CboToField2.Value)
        m = pFeatCursor.FindField(UserFormX.CboCountToField.Value)
    End If

    Set pFeature = pFeatCursor.NextFeature
    Do While Not pFeature Is Nothing

        If pFeature.Value(a) = longNod1 And (pFeature.Value(m) = 0) Then

            'MsgBox "fall1"
            pFeature.Value(m) = 1
            pFeatCursor.UpdateFeature pFeature
        End If
    Loop
End Sub

```



```

    longNod1 = pFeature.Value(b)
    FindDirection longNod1, UserFormX, IntHelper
    Exit Sub

ElseIf pFeature.Value(b) = longNod1 And (pFeature.Value(m) = 0) Then
    'MsgBox "fall2"
    'pFeature.Value(m) = 1
    longNod1 = pFeature.Value(a)
    LongB = pFeature.Value(b)

    pSelectionSet.RemoveList 1, pFeature.OID

    Dim ipFeatureClass As IFeatureClass
    Set ipFeatureClass = pFeatLayer.FeatureClass
    Set p2FeatCursor = ipFeatureClass.Update(Nothing, False)
    'Search(Nothing, False)

    Set p2Feature = p2FeatCursor.NextFeature
    Do While Not p2Feature Is Nothing

        Dim pA, pB, p4 As Long

        If IntHelper = 1 Then
            pA = p2FeatCursor.FindField(UserFormX.CboFromField.Value)
            pB = p2FeatCursor.FindField(UserFormX.CboToField.Value)
            p4 = p2Feature.OID
            h = p2FeatCursor.FindField(UserFormX.CboCountField.Value)
        ElseIf IntHelper = 2 Then
            pA = p2FeatCursor.FindField(UserFormX.CboFromField2.Value)
            pB = p2FeatCursor.FindField(UserFormX.CboToField2.Value)
            p4 = p2Feature.OID
            h = p2FeatCursor.FindField(UserFormX.CboCountToField.Value)
        End If

        If p2Feature.Value(pB) = longNod1 _
            And p2Feature.Value(pA) = LongB _
            And p2Feature.Value(h) = 0 Then
            p2Feature.Value(h) = 1
            p2FeatCursor.UpdateFeature p2Feature
            pSelectionSet.AddList 1, p2Feature.OID

            Exit Do
        End If

        Set p2Feature = p2FeatCursor.NextFeature

        'p2FeatCursor.UpdateFeature p2Feature
        Loop
        FindDirection longNod1, UserFormX, IntHelper
        Exit Sub
        'hier Element deselektieren und Gegenstueck (wenn vorhanden) selektieren!!

    End If

    'pFeatCursor.UpdateFeature pFeature
    Set pFeature = pFeatCursor.NextFeature

    Loop
    pSelectionSet.Refresh

End Sub

Public Function GetNod(strLoc As String, UserFormX As UserForm) As Long
    Dim pMxDocument As IMxDocument
    Set pMxDocument = ThisDocument

    Dim pMap As IMap
    Set pMap = pMxDocument.FocusMap

    Dim pLayer As ILayer

    Dim LayerCount As Long
    For LayerCount = 0 To pMap.LayerCount - 1
        If pMap.Layer(LayerCount).Name = UserFormX.CboNodeLayer.Value Then
            Set pLayer = pMap.Layer(LayerCount)
        End If
    Next LayerCount

```

```

Dim ipFeatureLayer As IFeatureLayer
Set ipFeatureLayer = pLayer

Dim ipFeatureClass As IFeatureClass
Set ipFeatureClass = ipFeatureLayer.FeatureClass

Dim ipFeatureCursor As IFeatureCursor
Set ipFeatureCursor = ipFeatureClass.Search(Nothing, False)

Dim pFeature As IFeature
Set pFeature = ipFeatureCursor.NextFeature

Dim nod As Long

Dim strFieldName As String
strFieldName = UserFormX.CboNodeFieldOrig.Value

Dim strFieldNameId
strFieldNameId = UserFormX.CboNodeFieldId.Value

While Not pFeature Is Nothing

    If pFeature.Value(pFeature.Fields.FindField(strFieldName)) = strLoc Then
        nod = pFeature.Value(pFeature.Fields.FindField(strFieldNameId))
        End If

    Set pFeature = ipFeatureCursor.NextFeature

Wend

GetNod = nod

End Function

Public Sub DeleteFlags()

    Dim pNetworkAnalysisExt As INetworkAnalysisExt
    Dim pNetworkAnalysisExtFlags As INetworkAnalysisExtFlags
    ' Dim pGN As IGeometricNetwork
    ' Dim pNetwork As INetwork
    ' Dim pNetEl As INetElements
    Dim pUID As New UID
    Dim m_pApp As IApplication

    Set m_pApp = Application
    pUID = "esricore.UtilityNetworkAnalysisExt"
    Set pNetworkAnalysisExt = m_pApp.FindExtensionByCLSID(pUID)
    Set pNetworkAnalysisExtFlags = pNetworkAnalysisExt
    pNetworkAnalysisExtFlags.ClearFlags
End Sub

Public Sub CalcIt(UserFormX As UserForm, IntHelper As Integer)

Dim pMxDocument As IMxDocument
Set pMxDocument = ThisDocument

Dim pMap As IMap
Set pMap = pMxDocument.FocusMap

Dim pLayer As ILayer
Dim LayerCount As Long

For LayerCount = 0 To pMap.LayerCount - 1
    If IntHelper = 1 Then
        If pMap.Layer(LayerCount).Name = UserFormX.CboLineLayer.Value Then
            Set pLayer = pMap.Layer(LayerCount)
        End If
    ElseIf IntHelper = 2 Then
        If pMap.Layer(LayerCount).Name = UserFormX.CboToLineLayer.Value Then
            Set pLayer = pMap.Layer(LayerCount)
        End If
    End If
Next LayerCount

```

```

Dim ipFeatureLayer As IFeatureLayer
Set ipFeatureLayer = pLayer

Dim ipFeatureClass As IFeatureClass
Set ipFeatureClass = ipFeatureLayer.FeatureClass

Dim ipFeatureCursor As IFeatureCursor
Set ipFeatureCursor = ipFeatureClass.Update(Nothing, False)

Dim pFeature As IFeature
Set pFeature = ipFeatureCursor.NextFeature

Dim strOriField, strDestField As String

If IntHelper = 1 Then
    strFieldCount = UserFormX.CboCount.Value
    strOriField = UserFormX.CboLineFieldOrig.Value
    strDestField = UserFormX.CboLineFieldDest.Value
ElseIf IntHelper = 2 Then
    strFieldCount = UserFormX.CboCountTo.Value
    strOriField = UserFormX.CboToLineFieldOrig.Value
    strDestField = UserFormX.CboToLineFieldDest.Value
End If

Dim k, l, m As Long

l = ipFeatureCursor.FindField(strFieldCount)
k = ipFeatureCursor.FindField(strOriField)
m = ipFeatureCursor.FindField(strDestField)

While Not pFeature Is Nothing

    pFeature.Value(l) = 0
    pFeature.Value(m) = pFeature.Value(k)
    ipFeatureCursor.UpdateFeature pFeature
    Set pFeature = ipFeatureCursor.NextFeature

Wend

End Sub

Public Sub CalcItII(UserFormX As UserForm, IntHelper As Integer, dblValue As Double)
    Dim pDoc As IMxDocument
    Dim pFeatLayer As IFeatureLayer
    Dim pFeatCursor As IFeatureCursor
    Dim pFeature As IFeature
    Dim l As Long
    Dim pFeatureSelection As IFeatureSelection
    Dim pSelectionSet As ISelectionSet2

    'Dim dblValue As Double
    'dblValue = UserFormX.BoxValue.Value

    Set pDoc = Application.Document

    Dim LayerCount As Long
    For LayerCount = 0 To pDoc.FocusMap.LayerCount - 1
        If IntHelper = 1 Then
            If pDoc.FocusMap.Layer(LayerCount).Name = UserFormX.CboLineLayer.Value Then
                Set pFeatLayer = pDoc.FocusMap.Layer(LayerCount)
                Exit For
            End If
        ElseIf IntHelper = 2 Then
            If pDoc.FocusMap.Layer(LayerCount).Name = UserFormX.CboToLineLayer.Value Then
                Set pFeatLayer = pDoc.FocusMap.Layer(LayerCount)
                Exit For
            End If
        End If
    Next LayerCount

    Set pFeatureSelection = pFeatLayer
    Set pSelectionSet = pFeatureSelection.SelectionSet
    pSelectionSet.Update Nothing, False, pFeatCursor
    ' Debug.Print pSelectionSet.Count

    Dim strOriField As String
    Dim strCountField As String

```



```

Dim strDestField As String

If IntHelper = 1 Then
    strOriField = UserFormX.CboLineFieldOrig.Value
    strDestField = UserFormX.CboLineFieldDest.Value
    strCountField = UserFormX.CboCount.Value
ElseIf IntHelper = 2 Then
    strOriField = UserFormX.CboToLineFieldOrig.Value
    strDestField = UserFormX.CboToLineFieldDest.Value
    strCountField = UserFormX.CboCountTo.Value
End If

Dim m As Long
Dim n As Long

k = pFeatCursor.FindField(strOriField)
l = pFeatCursor.FindField(strDestField)
m = pFeatCursor.FindField(strCountField)

Dim dblN As Double

Set pFeature = pFeatCursor.NextFeature
While Not pFeature Is Nothing

    dblN = pFeature.Value(l)
    n = pFeature.Value(m)
    'pFeature.Value(m) = 1
    pFeature.Value(m) = n + 1

    If UserFormX.OptReset.Value = True Then
        If IntHelper = 1 Then
            If UserFormX.OptionButton1.Value = True Then
                pFeature.Value(l) = pFeature.Value(k) + dblValue
            ElseIf UserFormX.OptionButton2.Value = True Then
                pFeature.Value(l) = pFeature.Value(k) - dblValue
            End If
        ElseIf IntHelper = 2 Then
            If UserFormX.OptionButton1.Value = True Then
                pFeature.Value(l) = pFeature.Value(k) - dblValue
            ElseIf UserFormX.OptionButton2.Value = True Then
                pFeature.Value(l) = pFeature.Value(k) + dblValue
            End If
        End If
    ElseIf UserFormX.OptAccumulative.Value = True Then
        If IntHelper = 1 Then
            If UserFormX.OptionButton1.Value = True Then
                pFeature.Value(l) = dblN + dblValue
            ElseIf UserFormX.OptionButton2.Value = True Then
                pFeature.Value(l) = dblN - dblValue
            End If
        ElseIf IntHelper = 2 Then
            If UserFormX.OptionButton1.Value = True Then
                pFeature.Value(l) = dblN - dblValue
            ElseIf UserFormX.OptionButton2.Value = True Then
                pFeature.Value(l) = dblN + dblValue
            End If
        End If
    End If

    pFeatCursor.UpdateFeature pFeature
    Set pFeature = pFeatCursor.NextFeature

Wend

End Sub

Public Sub RefreshSelection()

Dim pDoc As IMxDocument
Set pDoc = Application.Document

Dim LayerCount As Long
For LayerCount = 0 To pDoc.FocusMap.LayerCount - 1
    If pDoc.FocusMap.Layer(LayerCount).Name = CboLineLayer.Value Then
        Set pFeatLayer = pDoc.FocusMap.Layer(LayerCount)
    End If
Next LayerCount

```

```

        End If
    Next LayerCount

    Dim pFeatureSelection As IFeatureSelection
    Set pFeatureSelection = pFeatLayer

    Dim pSelectionSet As ISelectionSet2
    Set pSelectionSet = pFeatureSelection.SelectionSet

    pSelectionSet.Refresh

End Sub

Public Function GetNearestPoint(From_Nod As Long, UserFormX As UserForm)

    Dim pDoc As IMxDocument
    Set pDoc = Application.Document
    Dim pFLayerFrom As IFeatureLayer
    Dim pFLayerTo As IFeatureLayer

    Dim LayerCount As Long
    For LayerCount = 0 To pDoc.FocusMap.LayerCount - 1
        If pDoc.FocusMap.Layer(LayerCount).Name = UserFormX.CboNodeLayer.Value Then
            Set pFLayerFrom = pDoc.FocusMap.Layer(LayerCount)
        ElseIf pDoc.FocusMap.Layer(LayerCount).Name = UserFormX.CboToNodeLayer.Value Then
            Set pFLayerTo = pDoc.FocusMap.Layer(LayerCount)
        End If
    Next LayerCount

    Dim dblDistanceNow As Double
    Dim dblDistanceMin As Double

    Dim pFCursorFrom As IFeatureCursor, pFCursorTo As IFeatureCursor
    Set pFCursorFrom = pFLayerFrom.Search(Nothing, False)
    'loop through features of the 1st layer
    Dim pFeatureFrom As IFeature, pFeatureTo As IFeature
    Dim pProximityOp As IProximityOperator

    Dim strNodField As String
    strNodField = UserFormX.CboNodeFieldId.Value
    Dim strNodFieldTo As String
    strNodFieldTo = UserFormX.CboToNodeFieldId.Value

    Set pFeatureFrom = pFCursorFrom.NextFeature
    Do While Not pFeatureFrom Is Nothing
        Set pFeatureFrom = pFCursorFrom.NextFeature
        If pFeatureFrom.Value(pFeatureFrom.Fields.FindField(strNodField)) = From_Nod Then
            Exit Do
        End If
    Loop

    Set pProximityOp = pFeatureFrom.ShapeCopy
    Dim lngNearestPointId

    dblDistanceMin = 10000000
    Set pFCursorTo = pFLayerTo.Search(Nothing, False)
    Set pFeatureTo = pFCursorTo.NextFeature

    Do While Not pFeatureTo Is Nothing
        dblDistanceNow = pProximityOp.ReturnDistance(pFeatureTo.ShapeCopy)
        If dblDistanceNow < dblDistanceMin Then
            dblDistanceMin = dblDistanceNow
            lngNearestPointId = pFeatureTo.Value(pFeatureTo.Fields.FindField(strNodFieldTo))
        End If
        Set pFeatureTo = pFCursorTo.NextFeature
    Loop

    GetNearestPoint = lngNearestPointId

End Function

Public Sub SetHelpField(UserFormX As UserForm, IntHelper As Integer)

    Dim pMxDocument As IMxDocument
    Set pMxDocument = ThisDocument

```

```

Dim pMap As IMap
Set pMap = pMxDocument.FocusMap

Dim pLayer As ILayer
Dim LayerCount As Long

For LayerCount = 0 To pMap.LayerCount - 1
    If IntHelper = 1 Then
        If pMap.Layer(LayerCount).Name = UserFormX.CboLineLayer.Value Then
            Set pLayer = pMap.Layer(LayerCount)
        End If
    ElseIf IntHelper = 2 Then
        If pMap.Layer(LayerCount).Name = UserFormX.CboToLineLayer.Value Then
            Set pLayer = pMap.Layer(LayerCount)
        End If
    End If
Next LayerCount

Dim ipFeatureLayer As IFeatureLayer
Set ipFeatureLayer = pLayer

Dim ipFeatureClass As IFeatureClass
Set ipFeatureClass = ipFeatureLayer.FeatureClass

Dim ipFeatureCursor As IFeatureCursor
Set ipFeatureCursor = ipFeatureClass.Update(Nothing, False)

Dim pFeature As IFeature
Set pFeature = ipFeatureCursor.NextFeature

Dim strFieldCount As String

If IntHelper = 1 Then
    strFieldCount = UserFormX.CboCountField.Value
ElseIf IntHelper = 2 Then
    strFieldCount = UserFormX.CboCountToField.Value
End If

Dim k, l, m As Long

l = ipFeatureCursor.FindField(strFieldCount)

While Not pFeature Is Nothing

    pFeature.Value(l) = 0
    ipFeatureCursor.UpdateFeature pFeature
    Set pFeature = ipFeatureCursor.NextFeature

Wend

End Sub

Public Function FindDbfValueVer(dblValue As Double, UserFormX As UserForm, IntHelper As Integer)
Dim pDoc As IMxDocument
    Dim pFeatLayer As IFeatureLayer
    Dim pFeatCursor As IFeatureCursor
    Dim pFeature As IFeature
    Dim l As Long
    Dim pFeatureSelection As IFeatureSelection
    Dim pSelectionSet As ISelectionSet2

    'Dim dblValue As Double
    'dblValue = UserFormX.BoxValue.Value

    Set pDoc = Application.Document

    Dim LayerCount As Long
    For LayerCount = 0 To pDoc.FocusMap.LayerCount - 1
        If IntHelper = 1 Then
            If pDoc.FocusMap.Layer(LayerCount).Name = UserFormX.CboLineLayer.Value Then
                Set pFeatLayer = pDoc.FocusMap.Layer(LayerCount)
                Exit For
            End If
        ElseIf IntHelper = 2 Then
            If pDoc.FocusMap.Layer(LayerCount).Name = UserFormX.CboToLineLayer.Value Then

```



```

        Set pFeatLayer = pDoc.FocusMap.Layer(LayerCount)
        Exit For
    End If
End If
Next LayerCount

Set pFeatureSelection = pFeatLayer
Set pSelectionSet = pFeatureSelection.SelectionSet
pSelectionSet.Update Nothing, False, pFeatCursor
Debug.Print pSelectionSet.Count

Dim strOriField As String
Dim strCountField As String
Dim strDestField As String

If IntHelper = 1 Then
    strOriField = UserFormX.CboLineFieldOrig.Value
    strDestField = UserFormX.CboLineFieldDest.Value
    strCountField = UserFormX.CboCount.Value
ElseIf IntHelper = 2 Then
    strOriField = UserFormX.CboToLineFieldOrig.Value
    strDestField = UserFormX.CboToLineFieldDest.Value
    strCountField = UserFormX.CboCountTo.Value
End If

Dim m As Long
Dim n As Long

k = pFeatCursor.FindField(strOriField)
l = pFeatCursor.FindField(strDestField)
m = pFeatCursor.FindField(strCountField)

Dim dblN As Double
,
Dim dblNver As Double
dblNver = dblValue

Set pFeature = pFeatCursor.NextFeature
While Not pFeature Is Nothing

    dblN = pFeature.Value(l)
    n = pFeature.Value(m)
    'pFeature.Value(m) = 1
    pFeature.Value(m) = n + 1

    If UserFormX.OptReset.Value = True Then
        If IntHelper = 1 Then
            If UserFormX.OptionButton1.Value = True Then
                'pFeature.Value(l) = pFeature.Value(k) + DblValue
            ElseIf UserFormX.OptionButton2.Value = True Then
                If pFeature.Value(k) < dblNver Then
                    dblNver = pFeature.Value(k)
                End If
            End If
        ElseIf IntHelper = 2 Then
            If UserFormX.OptionButton1.Value = True Then
                'pFeature.Value(l) = pFeature.Value(k) - DblValue
                If pFeature.Value(k) < dblNver Then
                    dblNver = pFeature.Value(k)
                End If
            ElseIf UserFormX.OptionButton2.Value = True Then
                'pFeature.Value(l) = pFeature.Value(k) + DblValue
            End If
        End If
    ElseIf UserFormX.OptAccumulative.Value = True Then
        If IntHelper = 1 Then
            If UserFormX.OptionButton1.Value = True Then
                'pFeature.Value(l) = dblN + DblValue
            ElseIf UserFormX.OptionButton2.Value = True Then
                'pFeature.Value(l) = dblN - DblValue
                If pFeature.Value(k) < dblNver Then
                    dblNver = pFeature.Value(k)
                End If
            End If
        ElseIf IntHelper = 2 Then

```

```

        If UserFormX.OptionButton1.Value = True Then
            'pFeature.Value(1) = dblN - DblValue
            If pFeature.Value(k) < dblNver Then
                dblNver = pFeature.Value(k)
            End If
        ElseIf UserFormX.OptionButton2.Value = True Then
            'pFeature.Value(1) = dblN + DblValue
        End If
    End If
End If

pFeatCursor.UpdateFeature pFeature
Set pFeature = pFeatCursor.NextFeature

Wend
FindDblValueVer = dblNver
End Function

Public Sub LoadWeights(UserFormX As UserForm, IntHelper As Integer)

    Dim pMxDocument As IMxDocument
    Set pMxDocument = ThisDocument

    Dim pMap As IMap
    Set pMap = pMxDocument.FocusMap

    Dim pLayer As ILayer
    Dim pFeatureLayer2 As IFeatureLayer2

    Dim lngWeightCount As Long

    Dim m_pApp As IApplication
    Set m_pApp = Application
    Dim pUID As New UID
    pUID = "esricore.UtilityNetworkAnalysisExt"
    Dim pNetworkAnalysisExt As INetworkAnalysisExt
    Set pNetworkAnalysisExt = m_pApp.FindExtensionByCLSID(pUID)
    Dim pGeometricNetwork As IGeometricNetwork
    Dim lngNetworkCount As Long

    lngNetworkCount = pNetworkAnalysisExt.NetworkCount

    Dim pDataset As IDataset
    Dim lngFeatureLayerCount As Long

    Dim StrWeightName As String
    StrWeightName = dist

    Dim pNetSchema As INetSchema
    Dim pNetWeight As INetWeight

    UserFormX.Repaint

End Sub

```

« Pathfinder » (« Class Modules »):

```

Option Explicit

' vb version of the Pathfinder object

' local vars
Private m_ipGeometricNetwork As esriCore.IGeometricNetwork
Private m_ipMap As esriCore.IMap
Private m_ipPoints As esriCore.IPointCollection
Private m_ipPointToEID As esriCore.IPointToEID
' results
Private m_dblPathCost As Double
Private m_ipEnumNetEID_Junctions As esriCore.IEnumNetEID
Private m_ipEnumNetEID_Edges As esriCore.IEnumNetEID
Private m_ipPolyline As esriCore.IPolyline

' Optionally set the Map (e.g. the current map in ArcMap),
' otherwise a default map will be made (for IPointToEID).

```

```

Public Property Set Map(Map As esriCore.IMap)
    Set m_ipMap = Map
End Property

Public Property Get Map() As esriCore.IMap
    Set Map = m_ipMap
End Property

' Either OpenAccessNetwork or OpenFeatureDatasetNetwork
' needs to be called.

Public Sub OpenAccessNetwork(AccessFileName As String, FeatureDatasetName As String)

    Dim ipWorkspaceFactory As esriCore.IWorkspaceFactory
    Dim ipWorkspace As esriCore.IWorkspace
    Dim ipFeatureWorkspace As esriCore.IFeatureWorkspace
    Dim ipFeatureDataset As esriCore.IFeatureDataset

    ' After this Sub exits, we'll have an INetwork interface
    ' and an IMap interface initialized for the network we'll be using.

    ' close down the last one if opened
    CloseWorkspace

    ' open the mdb
    Set ipWorkspaceFactory = New esriCore.AccessWorkspaceFactory
    Set ipWorkspace = ipWorkspaceFactory.OpenFromFile(AccessFileName, 0)

    ' get the FeatureWorkspace
    Set ipFeatureWorkspace = ipWorkspace

    ' open the FeatureDataset
    Set ipFeatureDataset = ipFeatureWorkspace.OpenFeatureDataset(FeatureDatasetName)

    ' initialize Network and Map (m_ipNetwork, m_ipMap)
    If Not InitializeNetworkAndMap(ipFeatureDataset) Then Err.Raise 0, "OpenAccessNetwork",
    "Error initializing Network and Map"

End Sub

Public Sub OpenFeatureDatasetNetwork(FeatureDataset As esriCore.IFeatureDataset)
    ' close down the last one if opened
    CloseWorkspace

    ' we assume that the caller has passed a valid FeatureDataset

    ' initialize Network and Map (m_ipNetwork, m_ipMap)
    If Not InitializeNetworkAndMap(FeatureDataset) Then Err.Raise 0,
    "OpenFeatureDatasetNetwork", "Error initializing Network and Map"

End Sub

' The collection of points to travel through must be set.

Public Property Set StopPoints(Points As esriCore.IPointCollection)
    Set m_ipPoints = Points
End Property

Public Property Get StopPoints() As esriCore.IPointCollection
    Set StopPoints = m_ipPoints
End Property

' Calculate the path

Public Sub SolvePath(WeightName As String)

    Dim ipNetwork As esriCore.INetwork
    Dim ipTraceFlowSolver As esriCore.ITraceFlowSolver
    Dim ipNetSolver As esriCore.INetSolver
    Dim ipNetFlag As esriCore.INetFlag
    Dim ipaNetFlag() As esriCore.IEdgeFlag
    Dim ipEdgePoint As esriCore.IPoint
    Dim ipNetElements As esriCore.INetElements
    Dim intEdgeUserClassID As Long
    Dim intEdgeUserID As Long
    Dim intEdgeUserSubID As Long
    Dim intEdgeID As Long

```



```

Dim ipFoundEdgePoint As esriCore.IPoint
Dim dblEdgePercent As Double
Dim ipNetWeight As esriCore.INetWeight
Dim ipNetSolverWeights As esriCore.INetSolverWeights
Dim ipNetSchema As esriCore.INetSchema
Dim IntCount As Long
Dim I As Long
Dim vaRes() As Variant

' make sure we are ready
Debug.Assert Not m_ipPoints Is Nothing
Debug.Assert Not m_ipGeometricNetwork Is Nothing

' instantiate a trace flow solver
Set ipTraceFlowSolver = New esriCore.TraceFlowSolver

' get the INetSolver interface
Set ipNetSolver = ipTraceFlowSolver

' set the source network to solve on
Set ipNetwork = m_ipGeometricNetwork.Network
Set ipNetSolver.SourceNetwork = ipNetwork

' make edge flags from the points

' the INetElements interface is needed to get UserID, UserClassID,
' and UserSubID from an element id
Set ipNetElements = ipNetwork

' get the count
IntCount = m_ipPoints.PointCount
Debug.Assert IntCount > 1

' dimension our IEdgeFlag array
ReDim ipaNetFlag(IntCount)

For I = 0 To IntCount - 1
    ' make a new Edge Flag
    Set ipNetFlag = New esriCore.EdgeFlag
    Set ipEdgePoint = m_ipPoints.Point(I)
    ' look up the EID for the current point (this will populate intEdgeID and dblEdgePercent)
    m_ipPointToEID.GetNearestEdge ipEdgePoint, intEdgeID, ipFoundEdgePoint, dblEdgePercent
    Debug.Assert intEdgeID > 0 ' else Point (eid) not found
    ipNetElements.QueryIDs intEdgeID, esriETEdge, intEdgeUserClassID, intEdgeUserID,
intEdgeUserSubID
    Debug.Assert (intEdgeUserClassID > 0) And (intEdgeUserID > 0) ' else Point not found
    ipNetFlag.UserClassID = intEdgeUserClassID
    ipNetFlag.UserID = intEdgeUserID
    ipNetFlag.UserSubID = intEdgeUserSubID
    Set ipaNetFlag(I) = ipNetFlag
Next

' add these edge flags
ipTraceFlowSolver.PutEdgeOrigins IntCount, ipaNetFlag(0)

' set the weight (cost field) to solve on

' get the INetSchema interface
Set ipNetSchema = ipNetwork
Set ipNetWeight = ipNetSchema.WeightByName(WeightName)
Debug.Assert Not ipNetWeight Is Nothing

' set the weight (use the same for both directions)
Set ipNetSolverWeights = ipTraceFlowSolver
Set ipNetSolverWeights.FromToEdgeWeight = ipNetWeight
Set ipNetSolverWeights.ToFromEdgeWeight = ipNetWeight

' initialize array for results to number of segments in result
ReDim vaRes(IntCount - 1)

' solve it
ipTraceFlowSolver.FindPath esriFMConnected, esriSFObjFnMinSum, m_ipEnumNetEID_Junctions,
m_ipEnumNetEID_Edges, IntCount - 1, vaRes(0)

' compute total cost
m_dblPathCost = 0
For I = LBound(vaRes) To UBound(vaRes)

```

```

    m_dblPathCost = m_dblPathCost + vaRes(I)
Next

' clear the last polyline result
Set m_ipPolyline = Nothing

End Sub

' Property to get the cost
Public Property Get PathCost() As Double
    PathCost = m_dblPathCost
End Property

' Property to get the shape
Public Property Get PathPolyLine() As esriCore.IPolyline

    Dim ipEIDHelper As esriCore.IEIDHelper
    Dim count As Long, I As Long
    Dim ipEIDInfo As esriCore.IEIDInfo
    Dim ipEnumEIDInfo As esriCore.IEnumEIDInfo
    Dim ipGeometry As esriCore.IGeometry
    Dim ipNewGeometryColl As esriCore.IGeometryCollection
    Dim ipSpatialReference As esriCore.ISpatialReference

    ' if the line is already computed since the last path, just return it
    If Not m_ipPolyline Is Nothing Then
        Set PathPolyLine = m_ipPolyline
        Exit Property
    End If

    Set m_ipPolyline = New esriCore.Polyline
    Set ipNewGeometryColl = m_ipPolyline

    ' a path should be solved first
    Debug.Assert Not m_ipEnumNetEID_Edges Is Nothing

    ' make an EIDHelper object to translate edges to geometric features
    Set ipEIDHelper = New esriCore.EIDHelper
    Set ipEIDHelper.GeometricNetwork = m_ipGeometricNetwork
    Set ipSpatialReference = m_ipMap.SpatialReference
    Set ipEIDHelper.OutputSpatialReference = ipSpatialReference
    ipEIDHelper.ReturnGeometries = True

    ' get the details using the IEIDHelper classes
    Set ipEnumEIDInfo = ipEIDHelper.CreateEnumEIDInfo(m_ipEnumNetEID_Edges)
    count = ipEnumEIDInfo.count

    ' set the iterator to beginning
    ipEnumEIDInfo.Reset

    For I = 1 To count

        ' get the next EID and a copy of its geometry (it makes a Clone)
        Set ipEIDInfo = ipEnumEIDInfo.Next
        Set ipGeometry = ipEIDInfo.Geometry

        ipNewGeometryColl.AddGeometryCollection ipGeometry

    Next ' EID

    ' return the merged geometry as a Polyline
    Set PathPolyLine = m_ipPolyline

End Property

' Private
Private Sub CloseWorkspace()
    ' make sure we let go of everything and start with new results
    Set m_ipGeometricNetwork = Nothing
    Set m_ipPoints = Nothing
    Set m_ipPointToEID = Nothing
    Set m_ipEnumNetEID_Junctions = Nothing
    Set m_ipEnumNetEID_Edges = Nothing
    Set m_ipPolyline = Nothing

```

```

End Sub

Public Sub SolvePathFromJunctionFlags(WeightName As String)

Dim ipNetwork As INetwork
Dim ipTraceFlowSolver As ITraceFlowSolver
Dim ipNetSolver As INetSolver
Dim ipNetFlag As INetFlag
Dim ipaNetFlag() As IJunctionFlag
Dim ipEdgePoint As IPoint
Dim ipNetElements As INetElements
Dim intEdgeUserClassID As Long
Dim intEdgeUserID As Long
Dim intEdgeUserSubID As Long
Dim intEdgeID As Long
Dim ipFoundEdgePoint As IPoint
Dim dblEdgePercent As Double
Dim ipNetWeight As INetWeight
Dim ipNetSolverWeights As INetSolverWeights
Dim ipNetSchema As INetSchema
Dim IntCount As Long
Dim I As Long
Dim vaRes() As Variant

' make sure we are ready
Debug.Assert Not m_ipPoints Is Nothing
Debug.Assert Not m_ipGeometricNetwork Is Nothing

' instantiate a trace flow solver
Set ipTraceFlowSolver = New TraceFlowSolver

' get the INetSolver interface
Set ipNetSolver = ipTraceFlowSolver

' set the source network to solve on
Set ipNetwork = m_ipGeometricNetwork.Network
Set ipNetSolver.SourceNetwork = ipNetwork

' make edge flags from the points

' the INetElements interface is needed to get UserID, UserClassID,
' and UserSubID from an element id
Set ipNetElements = ipNetwork

' get the count
IntCount = m_ipPoints.PointCount
Debug.Assert IntCount > 1

' dimension our IEdgeFlag array
ReDim ipaNetFlag(IntCount)

For I = 0 To IntCount - 1
' make a new Edge Flag
Set ipNetFlag = New JunctionFlag
Set ipEdgePoint = m_ipPoints.Point(I)
' look up the EID for the current point (this will populate intEdgeID and dblEdgePercent)
m_ipPointToEID.GetNearestJunction ipEdgePoint, intEdgeID, ipFoundEdgePoint
Debug.Assert intEdgeID > 0 ' else Point (eid) not found
ipNetElements.QueryIDs intEdgeID, esriETJunction, intEdgeUserClassID, intEdgeUserID,
intEdgeUserSubID
Debug.Assert (intEdgeUserClassID > 0) And (intEdgeUserID > 0) ' else Point Not found
ipNetFlag.UserClassID = intEdgeUserClassID
ipNetFlag.UserID = intEdgeUserID
ipNetFlag.UserSubID = intEdgeUserSubID
Set ipaNetFlag(I) = ipNetFlag
Next

' add these edge flags
ipTraceFlowSolver.PutJunctionOrigins IntCount, ipaNetFlag(0)

' set the weight (cost field) to solve on

' get the INetSchema interface
Set ipNetSchema = ipNetwork
Set ipNetWeight = ipNetSchema.WeightByName(WeightName)
' Debug.Assert Not ipNetWeight Is Nothing

```



```

' set the weight (use the same for both directions)
Set ipNetSolverWeights = ipTraceFlowSolver
Set ipNetSolverWeights.FromToEdgeWeight = ipNetWeight
Set ipNetSolverWeights.ToFromEdgeWeight = ipNetWeight

' initialize array for results to number of segments in result
ReDim vaRes(IntCount - 1)

' solve it
ipTraceFlowSolver.FindPath esriFMConnected, esriSPObjFnMinSum, m_ipEnumNetEID_Junctions,
m_ipEnumNetEID_Edges, IntCount - 1, vaRes(0)

' compute total cost
m_dblPathCost = 0
For I = LBound(vaRes) To UBound(vaRes)
m_dblPathCost = m_dblPathCost + vaRes(I)
Next

' clear the last polyline result
Set m_ipPolyline = Nothing

End Sub

Private Function InitializeNetworkAndMap(FeatureDataset As esriCore.IFeatureDataset) As
Boolean

Dim ipNetworkCollection As esriCore.INetworkCollection
Dim ipNetwork As esriCore.INetwork
Dim count As Long, I As Long
Dim ipFeatureClassContainer As esriCore.IFeatureClassContainer
Dim ipFeatureClass As esriCore.IFeatureClass
Dim ipGeoDataset As esriCore.IGeoDataset
Dim ipLayer As esriCore.ILayer
Dim ipFeatureLayer As esriCore.IFeatureLayer
Dim ipEnvelope As esriCore.IEnvelope, ipMaxEnvelope As esriCore.IEnvelope
Dim dblSearchTol As Double
Dim dblWidth As Double, dblHeight As Double

On Error GoTo Trouble

' get the networks
Set ipNetworkCollection = FeatureDataset

' even though a FeatureDataset can have many networks, we'll just
' assume the first one (otherwise you would pass the network name in, etc.)

' get the count of networks
count = ipNetworkCollection.GeometricNetworkCount

Debug.Assert count > 0 ' then Exception.Create('No networks found');

' get the first Geometric Network (0 - based)
Set m_ipGeometricNetwork = ipNetworkCollection.GeometricNetwork(0)

' get the Network
Set ipNetwork = m_ipGeometricNetwork.Network

' The EID Helper class that converts points to EIDs needs a
' IMap, so we'll need one around with all our layers added.
' This Pathfinder object has an optional Map property than may be set
' before opening the Network.
If m_ipMap Is Nothing Then
Set m_ipMap = New esriCore.Map

' Add each of the Feature Classes in this Geometric Network as a map Layer
Set ipFeatureClassContainer = m_ipGeometricNetwork
count = ipFeatureClassContainer.ClassCount
Debug.Assert count > 0 ' then Exception.Create('No (network) feature classes found');

For I = 0 To count - 1
' get the feature class
Set ipFeatureClass = ipFeatureClassContainer.Class(I)
' make a layer
Set ipFeatureLayer = New esriCore.FeatureLayer
Set ipFeatureLayer.FeatureClass = ipFeatureClass
' add layer to the map

```

```

        m_ipMap.AddLayer ipFeatureLayer
    Next
End If      ' we needed to make a Map

' Calculate point snap tolerance as 1/100 of map width.
count = m_ipMap.LayerCount
Set ipMaxEnvelope = New esriCore.Envelope
For I = 0 To count - 1
    Set ipLayer = m_ipMap.Layer(I)
    Set ipFeatureLayer = ipLayer
    ' get its dimensions (for setting search tolerance)
    Set ipGeoDataset = ipFeatureLayer
    Set ipEnvelope = ipGeoDataset.Extent
    ' merge with max dimensions
    ipMaxEnvelope.Union ipEnvelope
Next

' finally, we can set up the IPointToEID ...
Set m_ipPointToEID = New esriCore.PointToEID
Set m_ipPointToEID.SourceMap = m_ipMap
Set m_ipPointToEID.GeometricNetwork = m_ipGeometricNetwork

' set snap tolerance
dblWidth = ipMaxEnvelope.Width
dblHeight = ipMaxEnvelope.Height

If dblWidth > dblHeight Then
    dblSearchTol = dblWidth / 100#
Else
    dblSearchTol = dblHeight / 100#
End If

m_ipPointToEID.SnapTolerance = dblSearchTol

InitializeNetworkAndMap = True      ' good to go
Exit Function

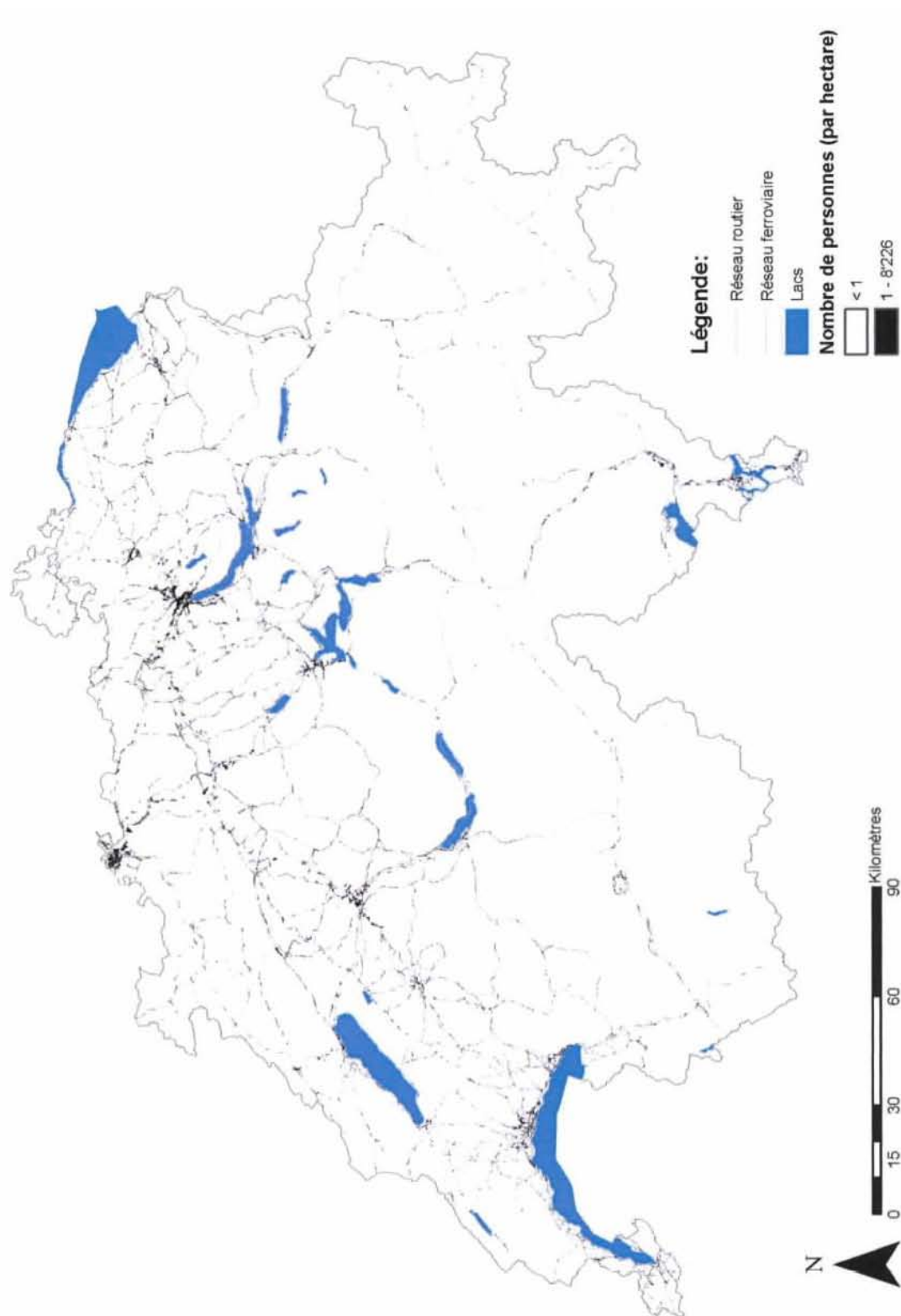
Trouble:
    InitializeNetworkAndMap = False    ' we had an error
End Function

Private Sub Class_Initialize()

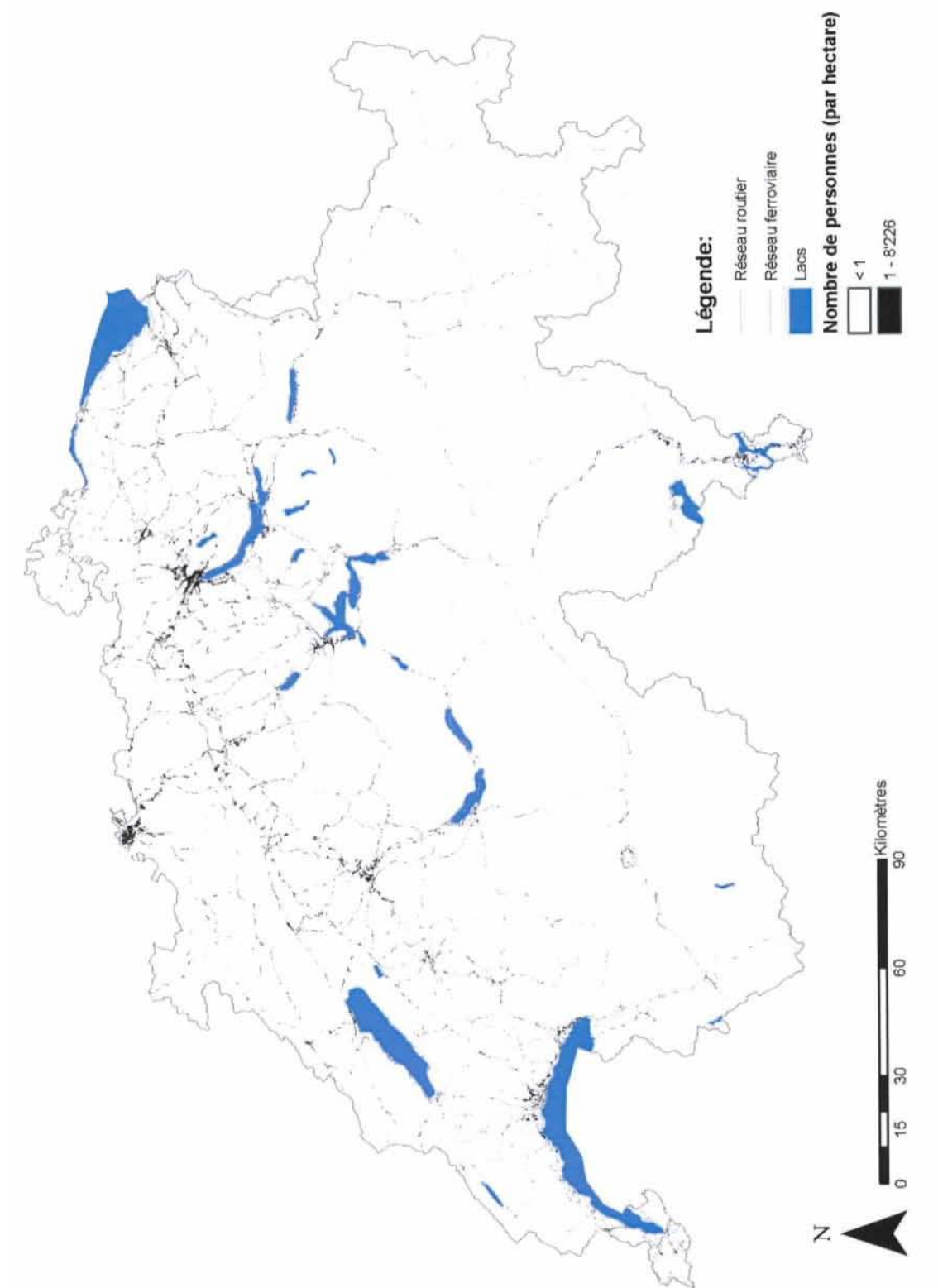
End
Sub

```

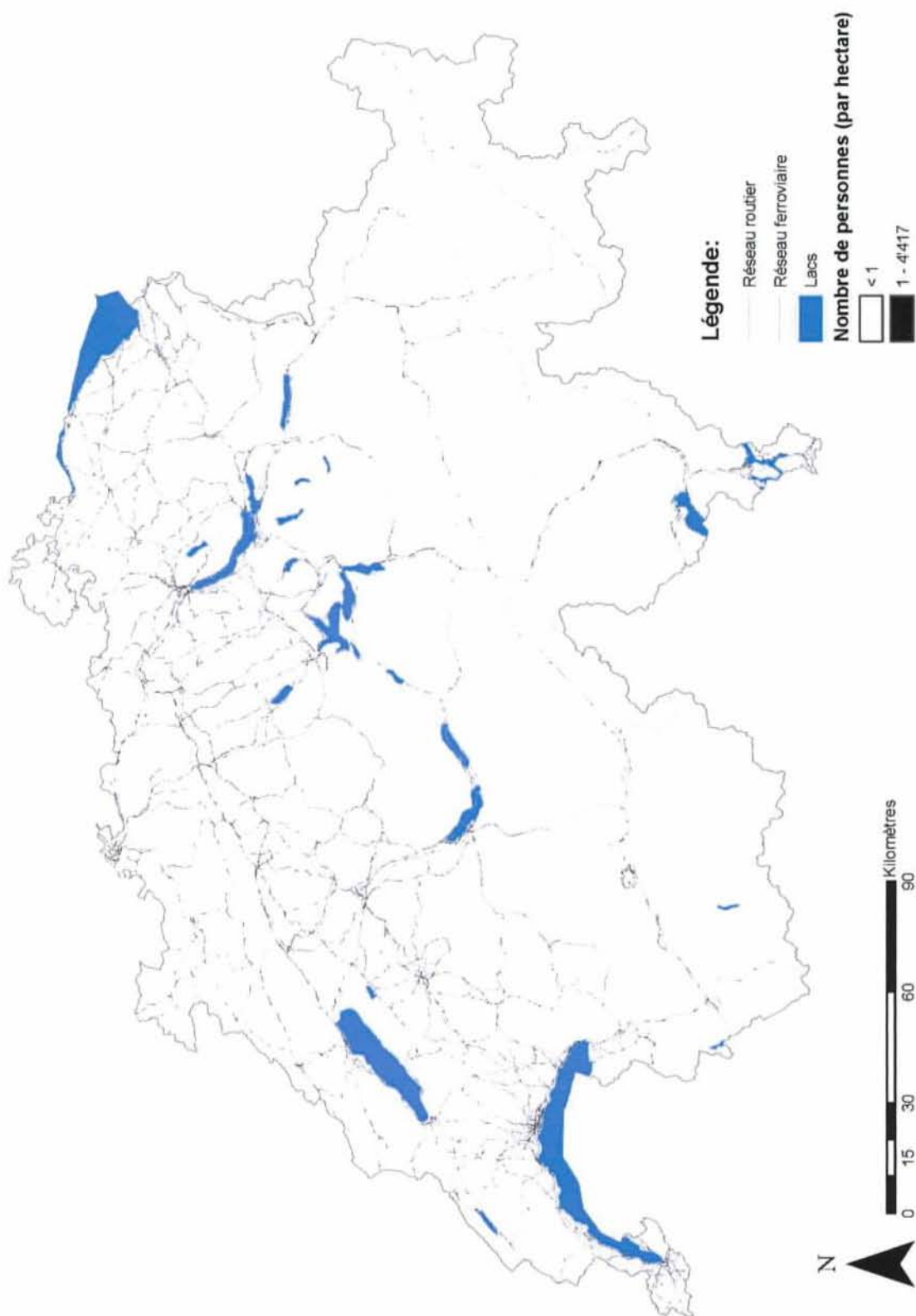
Annexe 28 : Localisation des personnes soumises à des immissions sonores et/ou de particules supérieures aux VLI (trafic total / « scénario de base »)



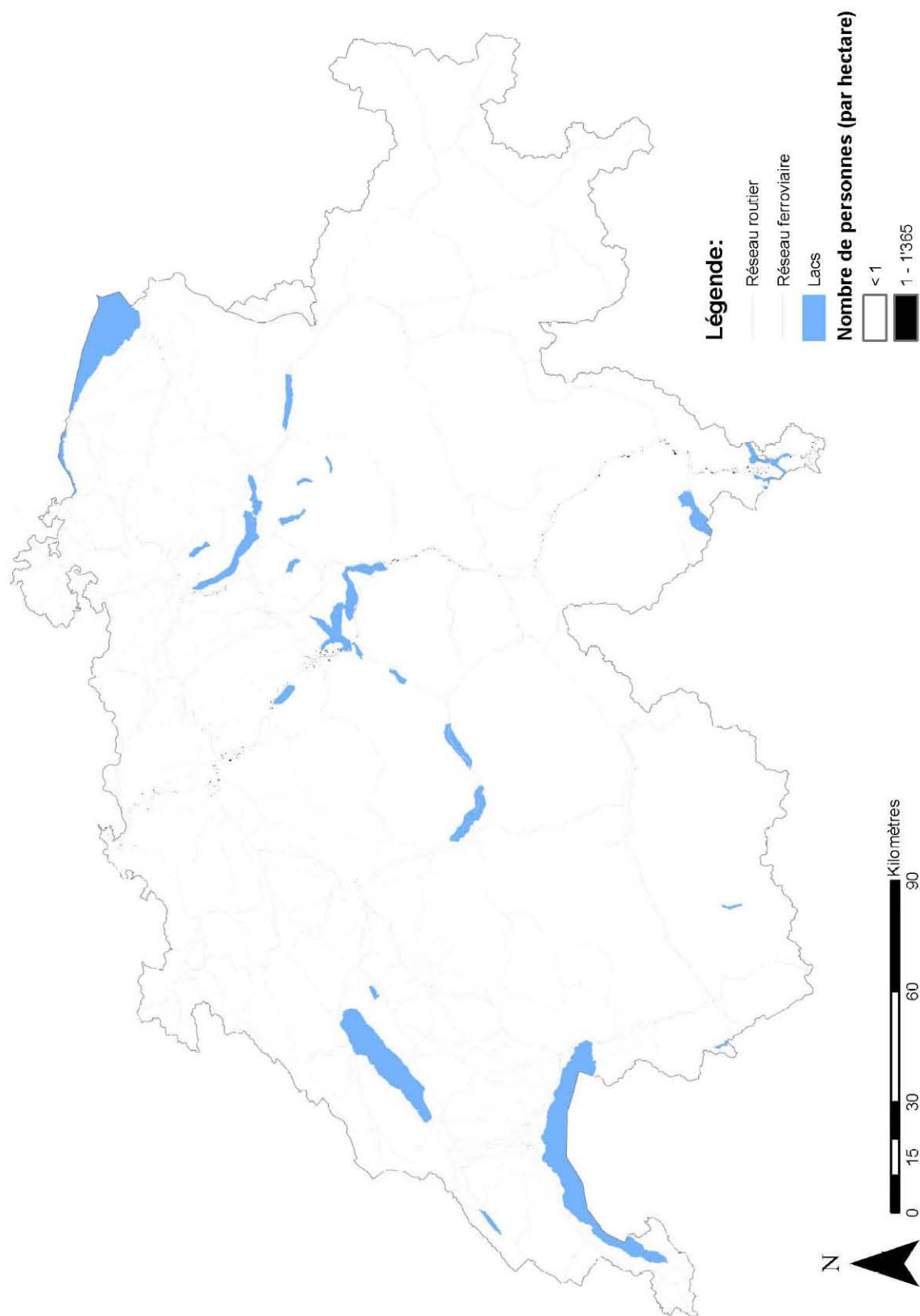
Annexe 29 : Localisation des personnes soumises à des immissions diurnes de particules supérieures aux VLI (trafic total / « scénario de base »)



Annexe 30 : Localisation des personnes soumises à des immissions sonores nocturnes supérieures aux VLI (trafic total / « scénario de base »)



Annexe 31 : Influence du trafic transalpin de marchandises sur le nombre de personnes soumises à des immissions de particules diurnes supérieures aux VLI (« scénario de base »)



Annexe 32 : Outil « FocalMean » (ArcGIS Desktop Help 2004)

ArcToolbox

FocalMean

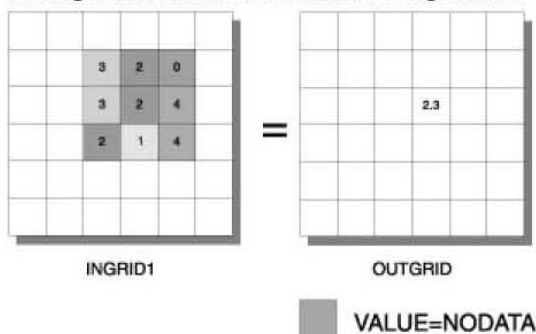
[Related topics](#)

[collapse all](#)

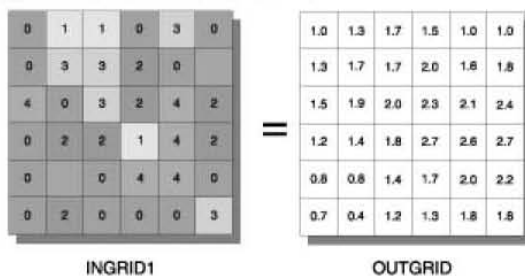
Finds the **mean** of the values for each cell location on an input raster within a specified neighborhood and sends it to the corresponding cell location on the output raster.

▼ Illustration

The Neighborhood Function on an Individual Neighborhood

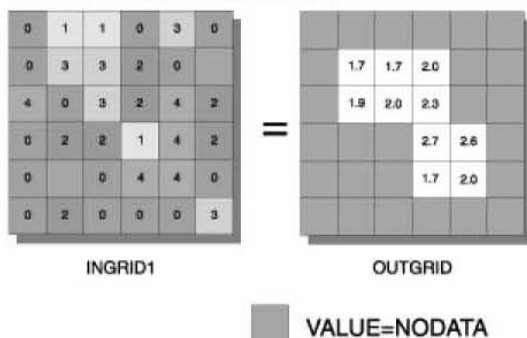


The Neighborhood Function on a Grid



Expression: **FOCALMEAN(INGRID1, RECTANGLE, 3, 3)**

The Neighborhood Function on a Grid



Expression: **FOCALMEAN(INGRID1, RECTANGLE, 3, 3, NODATA)**

▼ Usage tips

Map Algebra

- The values on the output raster will always be floating point.

- When typing a Map Algebra expression into the Spatial Analyst Raster Calculator, if the input raster dataset is a grid and resides in the working directory (set on the General tab of the Options dialog), type the name of the grid directly into the expression: i.e. `slope(ingrid1)`.

If the grid dataset does not reside in your working directory, type the path to the grid dataset on disk: i.e. `slope(c:\SpatialData\ingrid1)`.

All other raster datasets (e.g., TIFF) cannot be accessed directly from disk. To input other raster data (including grids) into an expression you must first add the dataset as a layer to ArcMap. The layers will be displayed in the Layers list of the Raster Calculator. When entering the raster into a Map Algebra expression it must be surrounded by square brackets: i.e. `slope([inlayer1])`.

▼ Command line syntax

See [Focal Statistics](#).

To perform a FocalMean, set the Focal Statistics type to Mean.

▼ Scripting syntax

See [Focal Statistics](#).

To perform a FocalMean, set the Focal Statistics type to Mean.

▼ Map Algebra syntax

`Focalmean(<grid>, {DATA | NODATA})`

`Focalmean(<grid>, <RECTANGLE>, <width>, <height>, {DATA | NODATA})`

`Focalmean(<grid>, <CIRCLE>, <radius>, {DATA | NODATA})`

`Focalmean(<grid>, <ANNULUS>, <inner_radius>, <outer_radius>, {DATA | NODATA})`

`Focalmean(<grid>, <WEDGE>, <radius>, <start_angle>, <end_angle>, {DATA | NODATA})`

`Focalmean(<grid>, <IRREGULAR>, <kernel_file>, {DATA | NODATA})`

`FocalMean(<grid>, <WEIGHT>, <kernel_file>, {DATA | NODATA})`

Each usage listed above specifies a different type or shape of neighborhood in which to determine the mean of the values. The possible neighborhood shapes are a rectangle, circle, annulus, wedge, irregular, and weighted irregular. Following each keyword are the necessary parameters, which further define the shape itself. If no neighborhood is specified (as is the case in the first usage), the default neighborhood is a 3-x-3 rectangle.

Parameters

Expression	Explanation
<grid>	<p>An input integer or floating-point raster, or an expression resulting in a raster, that identifies the values of the focal or processing cell and the values of the cells in its specified neighborhood.</p> <p>When no neighborhood is specified, the default neighborhood is a 3-x-3 rectangle.</p>
{DATA NODATA}	<p>A keyword defining the manner in which NoData values within a neighborhood will influence the output results.</p> <p>DATA specifies that if a NoData value exists within the neighborhood of the processing cell, then the NoData value will be ignored</p> <p>Only cells within the neighborhood that have data values will be used in determining the mean value.</p> <p>NODATA specifies that if any cell in a neighborhood has a value of NoData, then the output for the processing cell of the neighborhood will be NoData</p> <p>Whenever the NODATA keyword is used, the presence of a NoData value implies that there is insufficient information to determine the mean value of the neighborhood.</p>
<RECTANGLE>	<p>Defines the shape of a neighborhood and the associated output block as a rectangle.</p> <p>The x,y position for the processing cell within the neighborhood, with</p>

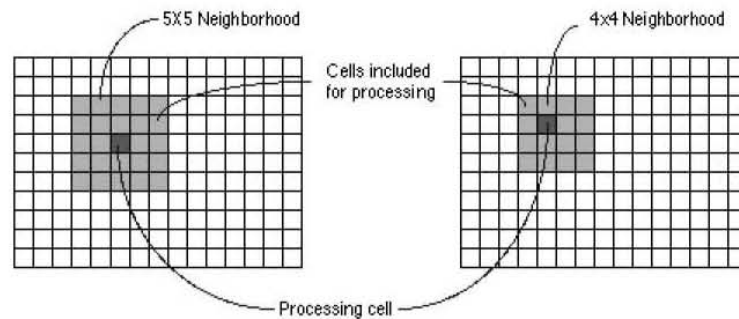
respect to the upper-left corner of the neighborhood, is determined by the following equations:

$$x = (\text{width of the neighborhood} + 1)/2$$

$$y = (\text{height of the neighborhood} + 1)/2$$

If the input number of cells is even, the x- and y-coordinates are computed using truncation.

For example, in a 5-x-5 cell neighborhood the x- and y-values are 3, 3. In a 4-x-4 neighborhood the x- and y-values are 2, 2.



<width>

Identifies the number of cells in the raster's x-direction that the neighborhood will encompass.

<height>

Identifies the number of cells in the raster's y-direction that the neighborhood will encompass.

<CIRCLE>

Defines the shape of a neighborhood to be a circle.

<radius>

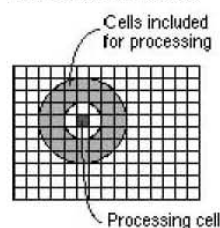
Identifies the number of cells in the raster's x-direction that the neighborhood will encompass.

The radius is identified in cells measured perpendicular to the x- or y-axis. Any cell center encompassed by the circle or wedge will be included in the processing of the neighborhood.

<ANNULUS>

Defines the shape of a neighborhood to be an annulus.

The annulus shape comprises one smaller circle within a larger circle (a donut shape). Cells that fall outside the radius of the smaller circle but inside the radius of the larger circle will be included in the processing of the neighborhood.



<inner_radius>

Specifies the radius of the inner circle of the annulus from the center of the processing cell.

The radius is identified in cells measured perpendicular to the x- or y-axis. Any cell center that falls within the radius will not be included in the processing of the neighborhood.

<outer_radius>

Specifies the radius of the outer circle of the annulus neighborhood from the center of the processing cell.

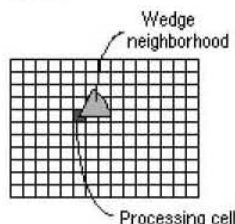
The outer circle defines the extent of the neighborhood. The radius is identified in cells measured perpendicular to the x- or y-axis. Any cell center that falls within the radius of the outer circle but outside the radius of the inner circle will be included in the processing of the neighborhood.

<WEDGE>

Defines the shape of a neighborhood to be a wedge (or a piece of a circle).

Cells that fall within the wedge will be included in the processing of the neighborhood.

The wedge shape is created by (1) specifying the radius from the center of the processing cell in cells measured perpendicular to the x- or y-axis, and (2) identifying the angle of the wedge. See also the <radius> argument above and the <start_angle> and <end_angle> arguments below.



<start_angle>

An integer or floating-point value from 0 to 360 (a circle) that defines the starting vector of a wedge.

The values of the circle begin with '0' on the positive x-axis (3:00 on a clock) and increase counterclockwise until they return to '0'.

<end_angle>

An integer or floating-point value from 0 to 360 that defines the ending vector of a wedge.

The angle established by the starting and ending vectors is used to create the wedge. All cells that fall within the radius and the wedge or angle are included in the processing of the neighborhood.

<IRREGULAR>

Allows for specifying an irregularly shaped neighborhood around the processing cell.

Cells that fall within the wedge will be included in the processing of the neighborhood.

The keyword IRREGULAR also defines the manner in which the values of the kernel file will be interpreted. The kernel file specifies which cell positions should be included within the neighborhood. The values in the kernel file should be either '0' or '1' (any value not equal to '0' will be interpreted as '1'). A value of '0' for a cell position indicates that the cell is not a member of the neighborhood; a value of '1' for a cell position indicates that its corresponding cell (and value) is a member of the neighborhood. The x,y position for the processing cell within the neighborhood, with respect to the upper-left corner of the neighborhood, is determined by the following equations:

$$x = (\text{width} + 1) / 2$$

$$y = (\text{height} + 1) / 2$$

If the input number of cells is even, the x- and y-coordinates are computed using truncation.

<kernel_file>

Defines the values and shape of an irregular neighborhood.

When used with the IRREGULAR keyword any value not equal to '0' will identify the cells in a neighborhood that will be used for processing.

The kernel file is an ASCII text file in which the first line specifies the number of cells in the x-direction, followed by a space, and the number of cells in the y-direction (or the width and height of the neighborhood). The subsequent lines give the values of each position in the neighborhood. The values are input in the same configuration as appears in the neighborhood they represent. A space between each value is necessary.

For a kernel file to be used with the IRREGULAR keyword, a neighborhood must be represented by 1's and 0's. The value '0' (not blank spaces) will identify the cells in a neighborhood that will not be

used for processing.

```
5 4
1 1 1 0 0
0 0 1 1 1
0 0 1 1 1
1 1 1 0 0
```

When a kernel file is used with the keyword WEIGHT, the number of cells along the x- and y-axes (the width and height of the neighborhood) are listed on the first line. All weight values, which further define the neighborhood, are listed on subsequent lines. When processing the neighborhood of a cell on the input raster, the value at each cell position in the neighborhood is multiplied by the value of the corresponding cell position in the kernel file, and the products are used to determine the mean within the neighborhood. A '0' within the kernel file is treated like any other value in the file: the value of the cell on the input raster is multiplied by zero and the product is used in determining the mean of the neighborhood.

```
6 6
3 0 0 0 0 0
0 3 0 0 0 0
0 0 3 0 0 0
0 0 0 3 0 0
0 0 0 0 3 0
0 0 0 0 0 3
```

<WEIGHT>

Allows for defining an irregular neighborhood and for specifying which weights will be used to multiply the cell values on an input raster.

See the <kernel_file> argument above for the specifications of the kernel file as it applies to the keyword WEIGHT. The x,y position for the processing cell within the neighborhood, with respect to the upper-left corner of the neighborhood, is determined by the following equations:

$$x = (\text{width} + 1) / 2$$

$$y = (\text{height} + 1) / 2$$

If the input number of cells is even, the x- and y-coordinates are computed using truncation.

Map Algebra examples

```
focalmean(ingrid1)
focalmean(ingrid1, NODATA)
focalmean(ingrid1, rectangle, 5, 5)
focalmean(ingrid1, circle, 3, NODATA)
focalmean(ingrid1, annulus, 2, 7)
focalmean(ingrid1, wedge, 7, 45, 90)
focalmean(ingrid1, irregular, irregular.txt)
focalmean((ingrid1 + ingrid2), rectangle, 3, 3)
focalmean(sin(ingrid1), NODATA)
```

▼ ArcObjects syntax

See [FocalStatistics](#).

To perform FocalMean using ArcObjects, use the INeighborhoodOp::FocalStatistics method from the RasterNeighborhoodOp specifying esriGeoAnalysisStatsmean as the esriGeoAnalysisStatisticsEnum.

Annexe 33 : Curriculum Vitae

ARNAUD Raphaëlle

Née à Vevey le 25.10.1976

Nationalité : française/suisse

Expérience professionnelle

- 2001-2006 **Assistante-doctorante**
EPFL – Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
LITEP – Laboratoire d'Intermodalité des Transports Et de Planification (Prof. Rivier)
- 2000-2001 **Projet d'étude**
IAURIF – Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région Ile-de-France (Paris)
- 2000 **Stage**
UFZ – Centre de Recherches sur l'Environnement – Leipzig (Allemagne)
- 1999 **Stage**
EPFL – Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
IATE – Institut d'Aménagement des Terres et des Eaux

Formation

- 2001-2006 **Thèse de doctorat**
EPFL – Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
LITEP – Laboratoire d'Intermodalité des Transports Et de Planification (Prof. Rivier)
- 2000-2001 **Diplôme d'Etudes Approfondies « Aménagement, Urbanisme et Dynamique des Espaces »**
Université PARIS I PANTHEON-SORBONNE
- 2000-2001 **Magistère « Aménagement »**
Université PARIS I PANTHEON-SORBONNE
- 1998-2000 **Maîtrise de Sciences et Techniques « Aménagement - Environnement »**
Université de METZ
- 1996-1998 **Diplôme d'Etudes Universitaires Générales « géographie »**
Université JOSEPH FOURIER DE GRENOBLE

Publications

Assessing the vulnerability of the environment to traffic, *Geoconnexion International Magazine*, 2007

Evaluation de l'impact du trafic sur les régions traversées - application au trafic transalpin de marchandises, *Revue Développement Durable & Territoires*, 2007

A GIS based method to assess the vulnerability of crossed regions to traffic - the case of the transalpine freight traffic, Horst Kremers, Vladimir Tikunov (eds.), Intercarto - InterGIS 12, International Conference on Geoinformation for Sustainable Development, Berlin, Germany, August 28-30, 2006, pp. 154-164

Towards a more sustainable modal and spatial split of freight traffic for crossing areas: the case of the transalpine freight traffic, 6th Swiss Transport Research Conference, March 15-17, 2006, 14 p.

A decision-making tool for a sustainable modal and spatial split of transalpine freight traffic, Sh@ring, EnvironInfo 2004, 18th International Conference Informatics for Environmental Protection, CERN, Geneva, Switzerland, October 21-23, 2004, pp. 419-428

A decision-making tool for a sustainable modal and spatial split of freight traffic considering the vulnerability of crossing areas - application to the Alps, Topic 6: Sustainable development, 2nd International Young Scientists Conference, Interdisciplinary Mountain Research, Stelvio National Park, Italy, 29.09.2004-02.10.2004

Toward sustainable freight traffic through the Alps: freight traffic impacts considering environmental, social and economical sensitivities of crossed areas, 3rd Swiss Transport Research Conference, 19-21 March 2003, 2003

Vers un trafic de marchandises durable à travers les Alpes: impacts du trafic de marchandises compte tenu des sensibilités environnementale, sociale et économique des espaces traversés, Raphaëlle Arnaud, 3ème Conférence Suisse sur la Recherche en Transport, 19-21 mars 2003, 2003

Transports combinés, des principes à l'application, actes du colloque "Options techniques pour le transport des marchandises à travers l'arc alpin, *SCIENCES*, 2003-1, 2003, pp. 20-23

Options techniques pour le transport des marchandises à travers l'arc alpin, Edition des actes du colloque: Raphaëlle Arnaud, Paul Faugeras, Robert Klapisch, *SCIENCES*, 2003-1, 2003